

Cristina Eliza Pozzobon

**APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA A CINZA DO CARVÃO
MINERAL PRODUZIDA NO COMPLEXO TERMELÉTRICO
JORGE LACERDA**

**Dissertação apresentada ao Curso de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Engenharia Civil.**

Florianópolis – Brasil

1999

**APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA A CINZA DO CARVÃO
MINERAL PRODUZIDA NO COMPLEXO TERMELÉTRICO
JORGE LACERDA**

Cristina Eliza Pozzobon

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Engenharia em Engenharia Civil.

Área de concentração:
Construção Civil

Orientador:
Prof. Dr. Janaíde Cavalcante Rocha

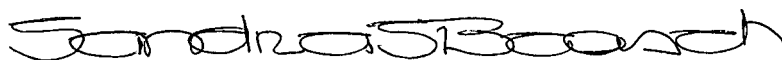
Florianópolis – Brasil
1999

FOLHA DE APROVAÇÃO

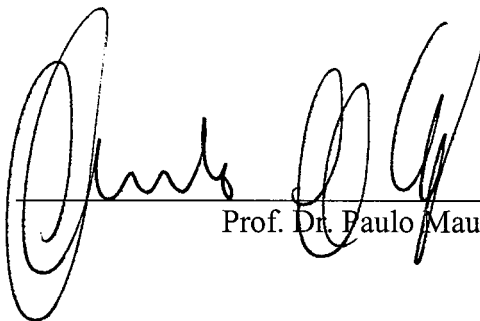
Dissertação defendida e aprovada em 28/04/1999,
pela comissão examinadora



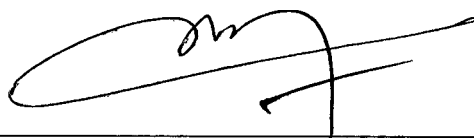
Prof. Dr. Janaíde Cavalcante Rocha (UFSC) – Orientador - Moderador



Prof. Dra. Sandra Sulamita Nahas Baasch (UFSC)



Prof. Dr. Paulo Maurício Selig (UFSC)



Prof. Dr. Malik Cheriaf (UFSC)



Prof. Dr. Jucilei Cordini – Coordenador do CPGEC

***“Nós não herdamos a terra de
nossos pais: nós a tomamos
emprestado de nossos filhos”***

(Lester Brown)

*Aos meus pais,
João e Onilse
e aos meus irmãos,
Daniela e João Ângelo,
pelos momentos de ausência.*

AGRADECIMENTOS

Registro aqui meus agradecimentos a todos que física, emocional, intelectual e espiritualmente me apoiaram nesta jornada.

À Prof. Janaíde Cavalcante Rocha, pela orientação deste trabalho e pela amizade.

Ao colegas do Grupo de Pesquisa em Resíduos do NPC, Prof. Malik Cheriaf, Eng. Régis Bazuco, bolsistas Marcelo, Rodrigo, Caroline e Leonardo.

Aos colegas, mestrandos em Engenharia Civil e em Engenharia de Produção, que compartilharam a amizade e a experiência.

Aos funcionários da GERASUL, Cristiane, Euclides, João Eduardo, José Lourival, e Sayonara. Ao funcionário da FATMA, César Goulart. Aos informantes das empresas cimenteiras e das empresas de componentes pré-fabricados.

Às amigas, incentivadoras e colegas que residem ou residiram em Florianópolis, Luciana, Fernanda, Marilei, Lígia, Dinara e, especialmente à Leila, pela convivência diária.

Aos amigos de Santa Maria ...

À meus pais João e Onilse e a meus irmãos Daniela e João Ângelo, pela convivência harmoniosa e investigadora que sempre me impulsionou à constante busca pelo conhecimento.

SUMÁRIO

| | |
|--|-------|
| LISTA DE FIGURAS | xii |
| LISTA DE TABELAS | xiv |
| LISTA DE QUADROS | xvi |
| LISTA DE ABREVIATURAS | xvii |
| RESUMO | xviii |
| ABSTRACT | xix |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Identificação do tema de pesquisa | 1 |
| 1.2 Justificativa e importância do tema | 1 |
| 1.3 Apresentação geral do problema | 4 |
| 1.4 Objetivos | 5 |
| 1.4.1 Objetivo geral | 5 |
| 1.4.2 Objetivos específicos | 5 |
| 1.5 Hipóteses | 6 |
| 1.5.1 Hipótese geral | 6 |
| 1.5.2 Hipóteses de trabalho | 6 |
| 1.6 Limitações do trabalho | 7 |
| 1.7 Definições importantes para o trabalho | 8 |
| 1.8 Estrutura do trabalho | 8 |

| | |
|---|-----------|
| 2. AS USINAS TERMELÉTRICAS E AS CINZAS DO CARVÃO MINERAL | 10 |
| 2.1 As usinas termelétricas brasileiras | 10 |
| 2.2 O carvão mineral como matéria-prima da cinza | 14 |
| 2.3 Generalidades sobre a cinza proveniente da queima do carvão mineral | 18 |
| 2.4 Histórico sobre o aproveitamento da cinza do carvão mineral | 22 |
| 2.5 Panorama mundial sobre o aproveitamento da cinza do carvão mineral | 26 |
| 2.6 Possibilidades de aplicação tecnológica da cinza do carvão mineral | 28 |
| | |
| 3. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 33 |
| 3.1 Breve introdução ao tema | 33 |
| 3.2 O resíduo como matéria-prima de materiais e componentes da construção civil | 35 |
| 3.3 Avaliação do resíduo quanto ao seu potencial de uso na construção civil | 37 |
| 3.3.1 Avaliação técnica | 39 |
| 3.3.2 Avaliação ambiental | 41 |
| 3.3.3 Avaliação econômica | 42 |
| 3.4 Normas técnicas | 44 |
| 3.5 Principais estudos sobre a fabricação de componentes com aproveitamento de cinzas | 46 |

| | |
|---|---------------|
| 4. METODOLOGIA DE PESQUISA | 48 |
| 4.1 Caracterização do trabalho | 48 |
| 4.2 Etapas de desenvolvimento do trabalho | 50 |
| 4.3 Coleta de dados | 51 |
| 4.4 Procedimentos usados na coleta de dados | 52 |
| 4.4.1 Complexo Termelétrico Jorge Lacerda | 53 |
| 4.4.2 Empresas cimenteiras | 53 |
| 4.4.3 Grupo de pesquisa em resíduos do Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC/UFSC) | 54 |
| 4.4.4 Empresas de componentes pré-fabricados | 55 |
| 4.4.5 Fundação do Meio Ambiente | 56 |
| 4.5 Análise dos dados e formulação de diretrizes | 57 |
| 5. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DO ESTUDO DE CASO | 58 |
| 5.1 GERASUL - A empresa geradora de energia | 58 |
| 5.2 Jorge Lacerda – O Complexo Termelétrico | 60 |
| 5.2.1 Extração e manuseio da cinza proveniente da queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda | 61 |

| | |
|---|-----|
| 5.2.2 Quantificação da cinza proveniente da queima do carvão mineral no | |
| Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 65 |
| 5.2.3 Grupo Coordenador para Operação Interligada _____ | 71 |
| 5.2.4 Conta de Consumo de Combustíveis _____ | 73 |
| 5.2.5 Comercialização da cinza proveniente da queima do carvão mineral no | |
| Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 74 |
| 5.3 Indústria brasileira de cimento – O setor consumidor _____ | 85 |
| 5.3.1 Caracterização geral _____ | 85 |
| 5.3.2 Caracterização específica _____ | 91 |
| 5.4 Pesquisa piloto para produção de componentes pré-fabricados – A alternativa | |
| de aproveitamento _____ | 95 |
| 5.4.1 Peças de concreto para pavimentação _____ | 95 |
| 5.4.2 Blocos de concreto _____ | 98 |
| 5.4.3 Custo unitário dos componentes _____ | 98 |
| 5.5 Empresas de componentes pré-fabricados da Grande Florianópolis - A | |
| realidade das potenciais usuárias _____ | 99 |
| 5.5.1 Características gerais _____ | 99 |
| 5.5.2 Respostas sobre o aproveitamento da cinza do carvão mineral _____ | 100 |
| 5.6 Fundação do Meio Ambiente (FATMA) – A legislação ambiental _____ | 102 |
| 5.6.1 Considerações iniciais _____ | 102 |
| 5.6.2 Exigências da Fundação do Meio Ambiente _____ | 104 |

| | |
|---|---------|
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 108 |
| 6.1 Conclusões | 108 |
| 6.2 Considerações para o aproveitamento de resíduos sólidos industriais | 111 |
| 6.3 Sugestões para trabalhos futuros | 112 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 114 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Produção brasileira de energia elétrica _____ | 11 |
| Figura 2 – Produção térmica por tipo de combustível – 1997 _____ | 12 |
| Figura 3 - Difração ao Raio X da cinza pesada _____ | 21 |
| Figura 4 - Micrografia da cinza pesada _____ | 21 |
| Figura 5 – Etapas de desenvolvimento do trabalho _____ | 51 |
| Figura 6 – Usina termelétrica Jorge Lacerda C _____ | 61 |
| Figura 7 – Carregamento de cinza leve da usina Jorge Lacerda A _____ | 62 |
| Figura 8 – Trituração da cinza pesada e adição de água _____ | 63 |
| Figura 9 - Bacia de sedimentação (nº 2) das usinas Jorge Lacerda A e B _____ | 64 |
| Figura 10 – Bacias de sedimentação (nº 4 e 5) da usina Jorge Lacerda C _____ | 64 |

| | |
|--|-----|
| Figura 11 – Fluxo da cinza do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 65 |
| Figura 12 – Fluxo da cinza do carvão mineral em Jorge Lacerda A (2 x 50MW) _____ | 65 |
| Figura 13 – Evolução anual do preço de venda da cinza seca no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 79 |
| Figura 14 - Evolução mensal do preço (mínimo, médio e máximo) de venda da cinza seca no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 81 |
| Figura 15 - Compra mensal da cinza seca produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 83 |
| Figura 16 - Participação percentual da produção dos diferentes tipos de cimento _____ | 88 |
| Figura 17 – Disposição das fábricas de cimento portland no Brasil _____ | 93 |
| Figura 18 - Prensador e moldes para as peças de concreto para pavimentação _____ | 96 |
| Figura 19 - Peças de concreto para pavimentação sendo moldadas _____ | 97 |
| Figura 20 – Respostas da amostra sobre o aproveitamento de resíduos sólidos industriais _____ | 101 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Elementos maiores presentes na composição química da cinza leve e pesada _____ | 20 |
| Tabela 2 – Capacidade dos silos armazenadores do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 62 |
| Tabela 3 – Consumo de carvão mineral, produção e comercialização da cinza do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 66 |
| Tabela 4 – Produção média mensal da cinza proveniente da queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 67 |
| Tabela 5 – Consumo de carvão mineral, produção e comercialização mensal da cinza do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 68 |
| Tabela 6 – Consumo de carvão mineral, produção, comercialização e retirada mensal da cinza do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 70 |
| Tabela 7 – Combustíveis adquiridos pela CCC - Sul/Sudeste/Centro-Oeste _____ | 74 |
| Tabela 8 – Evolução anual do preço de venda da cinza seca no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 78 |

| | |
|---|----|
| Tabela 9 – Evolução mensal do preço (mínimo, médio e máximo) de venda da cinza seca no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 80 |
| Tabela 10 – Compra mensal da cinza seca produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 82 |
| Tabela 11 – Compra média mensal da cinza seca produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 84 |
| Tabela 12 – Valor total mensal da cinza proveniente da queima do carvão mineral comercializada no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda _____ | 84 |
| Tabela 13 - Perfil da distribuição de cimento portland nacional consumido no Brasil _____ | 86 |
| Tabela 14 – Tipos e quantidades de cimento portland produzidos no Brasil _____ | 87 |
| Tabela 15 – Participação percentual da produção dos diferentes tipos de cimento _____ | 88 |
| Tabela 16 – Unidades de produção de cimento com aproveitamento de cinza do carvão mineral _____ | 92 |
| Tabela 17 – Produção mensal de CP IV e variação percentual da produção mensal _____ | 94 |
| Tabela 18 - Dosagens usadas na fabricação das peças de concreto para pavimentação _____ | 96 |
| Tabela 19 – Caracterização geral da amostra _____ | 99 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Definições adotadas ao longo do trabalho _____ | 8 |
| Quadro 2 - Usinas termelétricas brasileiras movidas a carvão mineral _____ | 13 |
| Quadro 3 - Consumo de carvão mineral para geração de energia térmica _____ | 13 |
| Quadro 4 – Classificação brasileira do carvão _____ | 17 |
| Quadro 5 – Especificações dos carvões energéticos brasileiros _____ | 17 |
| Quadro 6 – Normas de utilização de cinza volante em vários países _____ | 24 |
| Quadro 7 - Usos percentuais aproximados dos resíduos da combustão de carvão _____ | 28 |
| Quadro 8 - Características da cinza volante e pesada, produtos, vantagens e usos _____ | 32 |
| Quadro 9 – Resíduos usados na construção civil e grau de desenvolvimento da pesquisa no Brasil _____ | 34 |
| Quadro 10 – Número de sistemas construtivos por tipo de material na Vila Tecnológica de Curitiba _____ | 35 |
| Quadro 11 - Avaliação global dos resíduos e subprodutos (omitida a Classe 4) _____ | 38 |
| Quadro 12 – Preço mínimo para comercialização da cinza do carvão mineral _____ | 76 |
| Quadro 13 – Preço para a cinza seca _____ | 76 |
| Quadro 14 – Preço mínimo para leilão da cinza seca produzida em Jorge Lacerda _____ | 77 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|---------------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ASTM | <i>American Society for Testing and Materials</i> |
| CCC | Conta de Consumo de Combustíveis |
| CEC | Comissão de Estudos de Combustíveis |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| FATMA | Fundação do Meio Ambiente |
| GCOI | Grupo Coordenador para Operação Interligada |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| NPC | Núcleo de Pesquisa em Construção |
| OECD | <i>Organization for Economical Cooperation and Development</i> |
| RIMA | Relatório de Impacto Ambiental |
| SEBRAE | Serviço de Apoio a Micro e Pequenas Empresas |
| SNIC | Sindicato Nacional da Indústria do Cimento |

RESUMO

O aproveitamento de resíduos sólidos industriais pode ser uma estratégia benéfica, tanto para as indústrias geradoras de resíduos como para a construção civil. Diante desta afirmação e de uma busca pela redução do impacto ambiental, se faz necessário discutir aplicações tecnológicas para um subproduto conhecido e abundante, porém pouco explorado, que é a cinza do carvão mineral produzida nas usinas termelétricas.

Nesse contexto, o presente trabalho desenvolve um estudo de caso qualitativo, descrevendo o cenário envolvido na incorporação da cinza proveniente da queima do carvão mineral em produtos de construção. Para isto, são analisados os agentes intervenientes no processo de aplicação tecnológica desta cinza, quais sejam: Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, indústria cimenteira, grupo de pesquisa em resíduos do Núcleo de Pesquisa em Construção da Universidade Federal de Santa Catarina, indústria de componentes pré fabricados ,e Fundação do Meio Ambiente (FATMA).

O estudo revela que, atualmente, o aproveitamento da cinza do carvão mineral é pequeno e restrito, basicamente, à indústria cimenteira. Tal fato relaciona-se a falta de integração entre empresa geradora e potenciais compradoras. O maior potencial de aplicação tecnológica encontra-se na produção de componentes pré-fabricados; onde substituições parciais de matérias-primas convencionais por cinza mostram-se técnica, econômica e ambientalmente viáveis. Com base nestes resultados, são sugeridas considerações visando maior aproveitamento de resíduos sólidos industriais.

ABSTRACT

The utilization of industrial solid wastes can be a benefic strategy, as for the waste generator industries as for the building engineering. From this statement and from a search by the environmental impact minimization, it is necessary to discuss technological applications for a known and abundant sub-product, but little explored, that is the mineral coal ash produced at the coal-power-stations.

In this context, the present work develops a qualitative case study, that describes the scenario involved in the incorporation of ash coming from the burning mineral coal in building materials. For this, it is analyzed the interposed agents in the technological application process of this ash, such as: Jorge Lacerda Coal-Power-Station Complex, cement industry, research group in wastes from the Research Nuclei in Construction of Federal University of Santa Catarina, pre-manufactured component industries, and Environmental Foundation (FATMA).

The study reveals that, nowadays, the utilization of the mineral coal ash is small and strict, basically, to the cement industry. Such fact is related to the lack of integration between the generator enterprise and the potential buyers. The greatest potential of technological application is in the pre-manufactured component productions; where partial substitutions of conventional raw material by ash shows itself technically, economically and environmentally viable. Based on these results, it is suggested considerations for more utilization of industrial solid wastes.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 IDENTIFICAÇÃO DO TEMA DE PESQUISA

O trabalho aborda o aproveitamento de resíduos sólidos industriais na construção civil, através da cinza do carvão mineral; buscando contribuir na discussão sobre o assunto, visando a um melhor emprego desta matéria-prima, assim como a redução do problema ambiental causado pela geração de energia nas usinas termelétricas. Destaca a cinza pesada, presente em grande quantidade, para a qual não existem, atualmente, aplicações ou mercados conhecidos.

1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA

Nas palavras de Vázquez (1997), a proteção ambiental é um dos maiores desafios que a sociedade enfrenta na atualidade. Os elementos centrais desta preocupação são o consumo energético e de matérias-primas naturais, e a produção de resíduos.

Sobre o assunto, Haddad *et al.* (1997) explicam que a interação do subsistema econômico com o ecossistema requer a provisão de matérias-primas e insumos energéticos naturais, e produz uma série de restos - chamados resíduos - que cedo ou tarde retornam à natureza. A descarga destes resíduos não tratados no meio ambiente, não apenas deteriora a qualidade dos serviços do setor ambiental, como também

desperdiça uma fonte potencial de recursos. O aproveitamento procura enfrentar tais desvantagens, recuperando recursos do fluxo de resíduos a serem tratados e, conseqüentemente, reduzindo o impacto causado no ambiente.

Sob essa perspectiva, Costa (1998) cita duas razões que justificam a utilização de rejeitos industriais em produtos de construção. A primeira atende a uma conceituação geral, internacionalmente reconhecida e intimamente ligada à própria expansão e sedimentação das ações, visando à preservação ambiental e ecológica do planeta. A segunda razão, mais particular ao Brasil, diz respeito ao setor da construção civil e contempla interesses de ordem técnica e econômica.

No que concerne às razões ambientais e ecológicas, sabe-se que, em todo o mundo economicamente desenvolvido, as ações pertinentes à preservação do ambiente natural e de sua correspondente ecologia vêm ganhando, atualmente, adeptos e conseguindo vitórias através de legislações preservacionistas e de práticas produtivas cada vez menos predatórias e mais restauradoras. ...Trata-se de uma reação natural – e benigna, na medida em que provoca um deslocamento para uma posição de equilíbrio – aos excessos cometidos contra o meio ambiente por aqueles que pretendem produzir de forma indiscriminada, tendo como limites apenas sua própria economia de produção, sem considerar o impacto de suas ações sobre a ambiência e a ecologia. ...O aproveitamento de rejeitos de qualquer tipo, e em particular os rejeitos industriais, deve ser encarado como uma prática preservacionista restauradora, de elevado sentido ambiental e ecológico. Por esta razão e apenas por esta, já se justificaria a busca de utilização desses produtos na construção civil, independente de outras ações simultâneas (Costa, 1998, p. 45-46).

Quanto as razões técnicas e econômicas, a construção civil está entre os setores que apresentam grande potencialidade para o aproveitamento de resíduos sólidos industriais. Isto se deve, basicamente, à necessidade de redução do custo da construção (Cincotto & Kaupatez, 1988), ao volume de recursos naturais consumidos (Sauterey *apud* Cincotto, 1988) e à grande diversidade de insumos usados na produção; o que oferece uma série de opções para a incorporação de resíduos sólidos com diferentes funções na edificação.

Sobre esse contexto, Isaia (1995, p. 01) menciona que “além dos aspectos técnicos e funcionais, hoje a sociedade exige não só bom desempenho dos materiais ou da construção, mas também das interações com o meio ambiente, em busca daqueles cuja

obtenção ou realização se materializam com menor impacto ecológico e menor ônus energético”.

O autor assevera que “este posicionamento foi apropriadamente colocado por Mehta (1986) quando enfatizou que a escolha dos materiais de construção no futuro deveria atender ao quádruplo enfoque iniciado pela letra E: engenharia, economia, energia e ecologia”.

Isaia (1996) afirma, ainda, que a perspectiva de consumo destes resíduos é uma contribuição que a engenharia oferece à sociedade, com o objetivo de preservar o meio ambiente e, ao mesmo tempo, produzir construções mais duráveis e com menor custo econômico e social.

Tal aspecto também é comentado por Tavares *et al.* (1996). Estes autores sustentam que a engenharia, na sua forma de ciência e tecnologia, pode contribuir muito à questão ambiental, através da manipulação dos seus principais fatores: tecnologia, processo, informação e recursos humanos.

Dentre os resíduos comumente originados, a cinza do carvão mineral ocupa lugar de destaque, por estar presente na maioria dos processos de geração de energia.

Como grande parte dessa cinza possui atividade pozolânica, isto é, origem silicosa e mineralogicamente amorfa e, ainda, reatividade com a cal, a indústria da construção civil é a mais indicada para consumi-la, em produtos derivados do cimento portland (Isaia, 1996).

Pesquisas experimentais sobre o aproveitamento da cinza proveniente da queima do carvão mineral em produtos de construção civil têm sido realizadas com sucesso no Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e em outros centros de pesquisa do país.

Contudo, atualmente, em âmbito industrial, a cadeia produtiva do cimento tem aproveitado pequena parcela da cinza leve produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. Para a cinza pesada, retirada úmida da usina termelétrica, a comercialização é inexistente.

Sobre o assunto, John (1996) relata que as pesquisas raramente são utilizadas pela falta de integração efetiva entre as empresas produtoras de resíduo e os potenciais usuários.

Ademais, Viegas (1997) menciona que o setor elétrico brasileiro vem passando por profundas mudanças institucionais nesta década, que vão da expansão do sistema elétrico, através da abertura para o capital privado, à inserção da variável ambiental.

Tais ações tornam o ambiente propício ao trabalho proposto, uma vez que “o estabelecimento de qualquer estratégia de gestão e tratamento de resíduos passa inicialmente por uma etapa de caracterização qualitativa e quantitativa desses resíduos” (Castilhos et al., 1997, p. 27).

Dentro desse quadro real, a ampliação do conhecimento científico no que diz respeito a descrição e o entendimento dos agentes intervenientes, internos e externos, relacionados ao aproveitamento da cinza proveniente da queima do carvão mineral, parece ser justificável; tanto para a academia e o setor da construção civil conhecerem possíveis entraves e perspectivas de uso, quanto para as empresas produtoras aumentarem o mercado consumidor e, por consequência, reduzirem a disposição e o impacto no meio ambiente.

1.3 APRESENTAÇÃO GERAL DO PROBLEMA

As questões fundamentais que norteiam as argumentações desenvolvidas neste estudo podem ser assim consideradas: Quais são as características inerentes ao processo produtivo e ao subproduto do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda? Quais são as características externas à Jorge Lacerda associadas ao uso da cinza gerada durante a queima do carvão mineral? Como variam os custos dos produtos de construção que incorporam a cinza proveniente da queima do carvão mineral? Quais são os aspectos e as diretrizes a serem considerados na aplicação tecnológica desta cinza?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como escopo básico descrever o cenário envolvido no aproveitamento da cinza do carvão mineral em produtos de construção, levantando e analisando seus agentes intervenientes; e indicar diretrizes ou ações que propiciem a aplicação tecnológica desta cinza e a conseqüente redução do impacto ambiental causado pela geração de energia térmica.

1.4.2 Objetivos específicos

- ◆ Descrever a forma de produção, oferta, comercialização, transporte e mercado da cinza proveniente da queima do carvão mineral gerada nas usinas termelétricas brasileiras, tendo o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda como estudo de caso;
- ◆ Descrever o uso da cinza do carvão mineral em adição ao Cimento Portland;
- ◆ Apresentar as possibilidades de aplicação tecnológica da cinza do carvão mineral na construção civil;
- ◆ Apresentar a caracterização química, física, mineralógica, morfológica e ambiental da cinza do carvão mineral produzida em Jorge Lacerda;
- ◆ Caracterizar as empresas de componentes pré-fabricados da grande Florianópolis e apresentar o uso da cinza do carvão mineral em três destes componentes;
- ◆ Identificar a variação do custo unitário existente entre produtos fabricados com matéria-prima convencional e com substituição parcial por cinza proveniente da queima do carvão mineral;
- ◆ Relatar os procedimentos exigidos pela legislação e órgão de controle ambiental quanto ao uso da cinza proveniente da queima do carvão mineral;
- ◆ Relatar considerações sobre a aplicação tecnológica de resíduos sólidos industriais, embasadas no caso da cinza produzida em Jorge Lacerda.

1.5 HIPÓTESES

As hipóteses são apresentadas em dois grupos, ou seja, a hipótese geral e as hipóteses de trabalho, devendo todas serem analisadas em um mesmo contexto. Entretanto, pela característica qualitativa deste trabalho, tais hipóteses não serão comprovadas, servindo somente para orientação do estudo.

1.5.1 Hipótese geral

O estabelecimento deste cenário fornecerá subsídios que poderão otimizar o aproveitamento da cinza do carvão mineral proveniente das usinas termelétricas brasileiras. Com isto, poder-se-á minimizar o impacto ambiental causado pela extração e queima do carvão mineral para produção de energia térmica no Brasil.

1.5.2 Hipóteses de trabalho

- ◆ O estudo de caso no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda contribui para aprofundar o conhecimento sobre a cinza do carvão mineral gerada nas usinas termelétricas brasileiras;
- ◆ Além do Cimento Portland Pozolânico, existem aplicações tecnológicas para as cinzas na produção de elementos e componentes pré-fabricados;
- ◆ A cinza do carvão mineral possui parâmetros estruturais e ambientais, geometria, e desempenho tecnológico satisfatórios, tornando sua incorporação tecnicamente viável para traços e substituições definidas;
- ◆ Fabricantes, legislação e órgão ambiental aceitam a incorporação da cinza do carvão mineral na construção civil;
- ◆ A incorporação de cinza reduz o custo dos produtos de construção;
- ◆ O uso da cinza gerada em usina termelétrica é uma ferramenta estratégica benéfica tanto para a empresa produtora de energia, como para a construção civil e para o meio ambiente.

1.6 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A primeira limitação a ser considerada refere-se à complexidade do processo de aplicação tecnológica, que pode envolver diversos fenômenos e ser, consequentemente, interpretado de várias maneiras. Neste sentido, o presente trabalho não analisa os aspectos jurídicos, políticos e antropotecnológicos envolvidos. Interessa-se, particularmente, pelos aspectos técnicos/econômicos e as influências que as análises ambientais consideradas podem ter no aproveitamento de resíduos sólidos industriais em produtos de construção civil.

Outra questão refere-se ao cenário contido na pesquisa, que foi estruturado com base em alguns intervenientes previamente eleitos, os quais foram considerados como fundamentais para a otimização da aplicação tecnológica da cinza proveniente da queima do carvão mineral.

Os rejeitos oriundos de beneficiamento do carvão mineral, encontrados nas localidades próximas aos lavadores de carvão, não são objeto de estudo deste trabalho, visto que não foram considerados como intervenientes ligados à cinza.

Finalmente, é preciso ter claro que os resultados são válidos especificamente para o caso estudado, muito embora sirvam como referência para situações semelhantes, uma vez que a metodologia poderá ser aplicada em outras investigações.

A intenção deste trabalho não é esgotar o assunto abordado, assim como os objetos de investigação.

1.7 DEFINIÇÕES IMPORTANTES PARA O TRABALHO

Em função dos mais variados enfoques sobre os quais os pesquisadores abordam este tema, a diversidade de conceitos existentes torna-se muito extensa. Por esta razão, foram adotadas as definições apresentadas no Quadro 1 para nortear o trabalho.

Quadro 1 – Definições adotadas ao longo do trabalho

| Termo | Definição | Sinônimos usados |
|---------------------------------|--|--|
| Resíduo | Produto sólido gerado em indústria e destinado a aterro antes ou após ser submetido a algum processo de tratamento O resíduo pode ser denominado de subproduto quando adquire valor comercial | Resíduo sólido Resíduo sólido industrial Rejeito Rejeito industrial |
| Aproveitamento | Desvio do resíduo do destino final através de coleta, processamento e utilização sob forma de matéria-prima reunida com outras matérias-primas virgens para formar determinado produto O aproveitamento pode ser realizado por adição ou substituição | Incorporação Uso Utilização Emprego |
| Material de construção | Elemento básico de construção, como: cimento, aço, plástico, entre outros | Material de construção civil |
| Componente de construção | Elemento unitário, manufaturado, usado em construção, como: bloco, painel, janela, entre outros | Componente de construção civil |
| Produto de construção | Material e/ou componente usado em construção | Produto de construção civil |

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, de tal forma que em cada um destes capítulos se desenvolvem alguns dos objetivos enunciados na seção 1.4.

O presente capítulo identifica o tema da pesquisa; apresenta justificativa, importância e problematização do trabalho; expõe seus objetivos, hipóteses e limitações; bem como as definições consideradas ao longo do estudo.

Após essa introdução, procede-se à análise das contribuições teóricas disponíveis, apresentando-se, nos Capítulos 2 e 3, os principais tópicos relacionados ao tema do estudo de caso.

O referencial teórico selecionado no Capítulo 2 compreende o entendimento da geração de energia térmica e sua interação com a exploração de carvão mineral. Neste sentido, focaliza, inicialmente, a produção de energia térmica no país, partindo para uma breve abordagem sobre o carvão mineral como matéria-prima. No que tange a cinza, são apresentadas generalidades, histórico, panorama mundial e possibilidades de aplicação tecnológica.

No Capítulo 3 discorre-se sobre o aproveitamento de resíduos sólidos industriais em produtos de construção civil. Analisa-se, inicialmente, o resíduo como matéria-prima de materiais e componentes. Após, apresentam-se as avaliações e especificidades a serem consideradas, as normas técnicas pertinentes à aplicação tecnológica da cinza, assim como os principais estudos sobre a fabricação de componentes com aproveitamento de cinzas.

O Capítulo 4 contempla a descrição das informações relativas à pesquisa, de acordo com o delineamento teórico e os passos metodológicos definidos, compreendendo a caracterização do trabalho, suas etapas de desenvolvimento e os procedimentos usados na coleta de dados, na análise destes dados e na formulação das diretrizes.

No Capítulo 5 são apresentados e discutidos os resultados obtidos no estudo de caso. Inicialmente são caracterizados os intervenientes inerentes ao processo produtivo e ao subproduto gerado no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e, posteriormente, descritos os intervenientes externos, relevantes ao aproveitamento da cinza do carvão mineral na construção civil.

O Capítulo 6 relaciona as considerações conclusivas obtidas com a realização deste trabalho. Apresenta, ainda, considerações voltadas à aplicação tecnológica da cinza do carvão mineral produzida durante a geração de energia, e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

AS USINAS TERMELÉTRICAS E AS CINZAS DO CARVÃO MINERAL

Neste capítulo, trata-se de apresentar a cinza como um produto da usina termelétrica, que deve ser analisado dentro do contexto da exploração do carvão mineral. Neste sentido, focaliza-se, inicialmente, a produção de energia térmica no país, partindo-se para uma breve abordagem sobre o carvão mineral como matéria-prima. No que tange a cinza, são apresentadas generalidades, histórico, panorama mundial e possibilidades de aplicação tecnológica.

2.1 AS USINAS TERMELÉTRICAS BRASILEIRAS

A história da geração de energia elétrica no Brasil já ultrapassa um século. A primeira usina termelétrica foi construída em Campos (Rio de Janeiro) nos idos de 1883. Em Juiz de Fora (Minas Gerais), em 1889, implantou-se a primeira usina hidrelétrica do país, pioneira também na América do Sul (ELETROBRÁS, 1998a).

Ao longo de 1997, a energia elétrica total produzida no Brasil, incluindo autoprodutores, foi 321,6TWh. Tal valor, juntamente com os valores correspondentes aos anos de 1995 e 1996, encontram-se detalhados em produção percentual de Itaipú, térmica, hidráulica e de autoprodutores, na Figura 1.

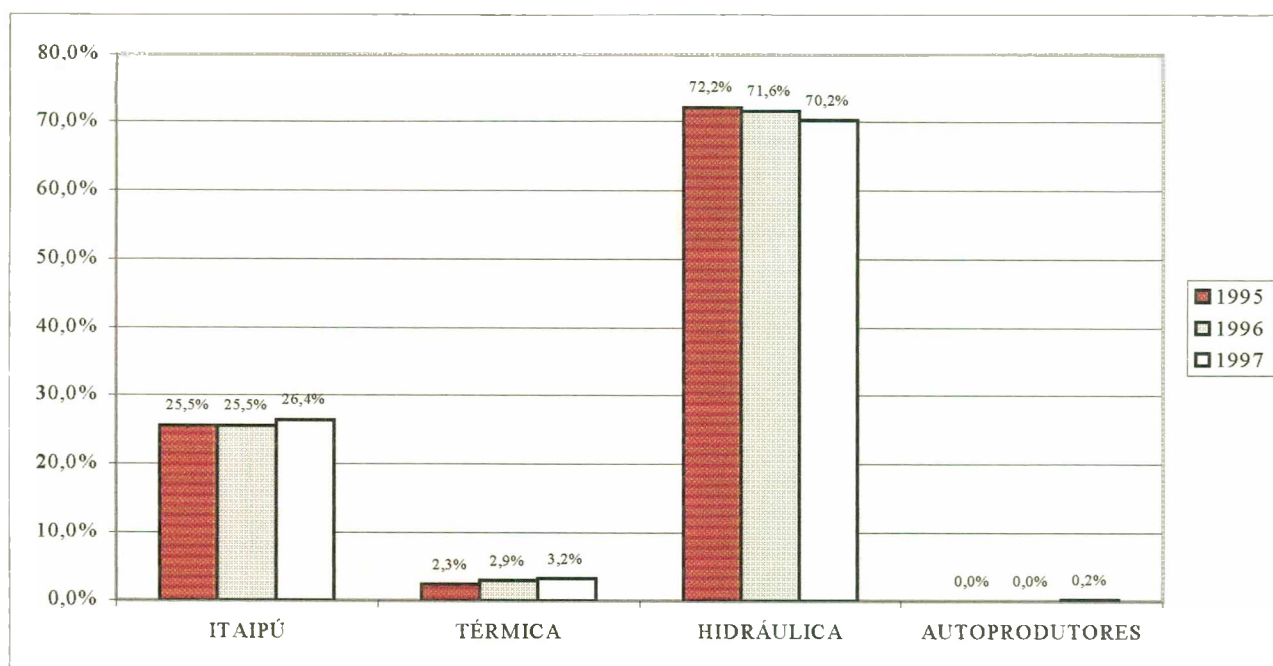


Figura 1 – Produção brasileira de energia elétrica

Fonte: ELETROBRÁS (Relatórios GCOI 1995, 1996 e 1997)

Da Figura 1 percebe-se que a produção de energia térmica no país vem aumentando ao longo dos últimos três anos.

As usinas termelétricas, também chamadas termoelétricas ou térmicas, são constituídas por quatro elementos principais (Viegas, 1997):

i. Caldeira: É o elemento mais característico dos equipamentos de uma usina termelétrica. Sua função é elevar a temperatura da água através do calor liberado pela queima do combustível, transformando-a em vapor, à alta temperatura e pressão. A caldeira é projetada de acordo com o combustível a ser utilizado (carvão mineral, óleo combustível, gás natural, entre outros). Sob este aspecto, as instalações auxiliares (silos, moinhos, alimentadores) para manuseio de combustível são diferenciadas entre as caldeiras que utilizam carvão mineral, gás ou óleo combustível.

ii. Turbina a vapor: É uma máquina térmica rotativa que transforma a energia potencial do vapor produzido na caldeira em energia mecânica.

iii. Gerador: É uma máquina elétrica gigantesca que transforma a energia primária, recebida em seu eixo, em energia elétrica.

iv. Condensador: É um dispositivo de refrigeração, cuja finalidade é condensar o vapor proveniente da turbina e transformá-lo novamente em água.

A produção de energia elétrica através dessas usinas termelétricas consiste, basicamente, em:

- (a) Queimar o combustível para transformar a água tratada em vapor, devido ao calor gerado;
- (b) Expandir o vapor em condições de alta pressão e temperatura, a fim de obter energia mecânica na turbina e fornecer esta energia ao rotor do gerador;
- (c) Condensar o vapor, transferindo-se o calor para o meio refrigerante. O vapor retorna condensado à caldeira para completar e reiniciar o ciclo.

Usualmente, de acordo com a ELETROBRÁS *apud* Viegas (1997), as usinas termelétricas podem ser classificadas, quanto ao uso de combustível, em: convencionais, quando utilizam derivados de petróleo, gás, energia nuclear e carvão mineral; e não convencionais, pelo uso de biomassa, resíduos orgânicos e outros.

Neste trabalho estão relacionadas apenas as usinas termelétricas do tipo convencional, que utilizam o carvão mineral como combustível, tendo-se o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda como estudo de caso.

A Figura 2 detalha a produção de energia térmica das usinas convencionais, por tipo de combustível, durante o ano de 1997. Mostra que praticamente metade da energia térmica é gerada pela queima do carvão mineral.

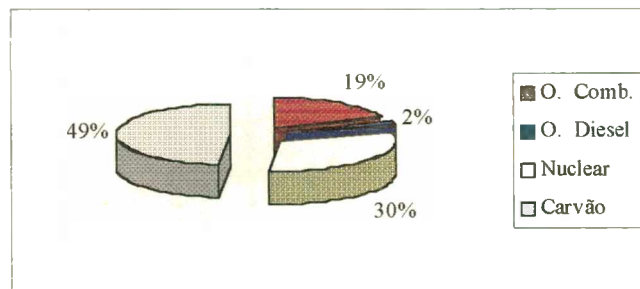


Figura 2 – Produção térmica por tipo de combustível – 1997

Fonte: ELETROBRÁS (Relatório GCOI, 1997)

Os aspectos geográficos brasileiros influenciam diretamente na utilização do combustível empregado na geração de energia térmica. As usinas brasileiras em atividade, que empregam carvão mineral como combustível, estão situadas geograficamente junto aos principais jazimentos carboníferos do país, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (Viegas: 1997; Zwonok *et al.*: 1996).

O Quadro 2 indica a localização e a capacidade nominal dessas usinas. A geração de energia térmica prevista para 1998 consta no Plano Anual de Combustíveis da ELETROBRÁS (1998b).

Quadro 2 - Usinas termelétricas brasileiras movidas a carvão mineral

| Usina termelétrica | Localização | Capacidade nominal instalada (MW) | MW médio/1998 |
|--------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------|
| Charqueadas | Charqueadas (RS) | 72 | 30,0 |
| Presidente Médici | Candiota (RS) | 446 | 283,0 |
| São Jerônimo | São Jerônimo (RS) | 20 | 6,0 |
| Jorge Lacerda | Tubarão (SC) | 832 | 481,0 |
| Figueira | Figueira (PR) | 20 | 6,0 |
| Total | | 1.390,0 | 806,0 |

A Síntese Anual do SIESE (ELETROBRÁS, 1998c) informa, no Quadro 3, o consumo de carvão mineral na geração de energia térmica para o país.

Quadro 3 - Consumo de carvão mineral para geração de energia térmica

| Estado | Carvão mineral (10 ³ t) | | | | | |
|-------------------|------------------------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| | 1995 | 1996 | 1997 | Variação (%) | | |
| | | | | 95/94 | 96/95 | 97/96 |
| Rio Grande do Sul | 2.289 | 1.857 | 1.868 | 11,2 | -18,9 | 0,6 |
| Santa Catarina | 1.276 | 1.621 | 2.228 | 28,0 | 27,0 | 34,7 |
| Paraná | 22 | 26 | 36 | 29,4 | 18,2 | 38,5 |
| Total | 3.587 | 3.504 | 4.132 | 16,8 | -2,3 | 17,9 |

Viegas (1997) informa que a operação de uma usina termelétrica alimentada por carvão mineral, produz, além de energia elétrica, uma série de outros elementos, decorrentes das atividades que compõe o processo tecnológico, que interagem com o meio ambiente. Tais elementos são:

- ♦ Emissões do chaminé;
- ♦ Efluentes líquidos;
- ♦ Impacto visual, ruído, vibração, calor e odor;
- ♦ Resíduos sólidos.

Os resíduos sólidos, formados principalmente por cinza leve e cinza pesada, se constituem no foco deste trabalho. Como a cinza proveniente da queima do carvão mineral possui valor comercial, pode ser considerada um subproduto da usina termelétrica.

2.2 O CARVÃO MINERAL COMO MATÉRIA-PRIMA DA CINZA

No contexto energético descrito por Zwonok *et al.* (1996), o carvão é o maior recurso mineral do planeta, sendo apontado como a alternativa mais eminente para o petróleo, haja vista que possibilita resultados positivos a curto prazo e possui tecnologia de aproveitamento como combustível dominada desde o início da sociedade industrial.

De maneira análoga, é o recurso energético não renovável mais abundante do país (Gothe, 1990). As reservas brasileiras atingem 32,4 bilhões de toneladas (Viegas: 1997; MINFRA *apud* Abreu: 1993).

Os jazimentos carboníferos brasileiros, em forma de lignito, situam-se no setor ocidental do estado do Amazonas, na Bacia do Rio Fresco, no município de São Félix do Xingu e na Bacia de Jatobá. Os carvões betuminosos e sub-betuminosos estão localizados ao leste da Bacia Sedimentar do Paraná (Abreu, 1993).

Abreu (1993) explica que o carvão mineral de interesse econômico, por suas qualidades e magnitudes ($30.993,55 \times 10^6$ toneladas), encontra-se na formação Rio Bonito, borda

leste da Bacia do Paraná, estendendo-se do estado de São Paulo ao estado do Rio Grande do Sul.

Desse carvão, 92,32% pertence ao Rio Grande do Sul. Santa Catarina possui 7,23%; Paraná possui 0,42% e cabe ao estado de São Paulo, onde não existe nenhum tipo de mineração, o valor restante (0,03%).

Em resumo, Abreu (1993) menciona que o carvão é uma rocha sedimentar combustível, formada por vegetais que foram enterrados e compactados em bacias originalmente pouco profundas. A complexidade dos processos de transformação desta rocha sedimentar, tais como: perda de água, perda de oxigênio e enriquecimento de carbono, derivam de fatores como a atuação da compressão, do tectonismo e da temperatura.

Os carvões possuem quantidades consideráveis de matéria mineral a eles associada que, tanto no processo de combustão quanto na gaseificação, se constituem em resíduos genericamente denominados de cinza (Rohde, 1998).

Abreu (1993) explica que a origem geológica do carvão tem influência na composição e, conseqüentemente, no tipo de cinza produzida.

O carvão produzido e consumido no Brasil apresenta alto teor de matéria mineral, responsável pela formação de resíduos (Zwonok *et al.*, 1996).

Dessa forma, o consumo de carvão está associado a um grave problema de caráter ambiental, que é a destinação de quantidades significativas de cinzas remanescentes da combustão.

Sobre o assunto, Gothe (1990) menciona que assim como todos os minérios, o carvão apresenta uma série de compostos metálicos em sua composição, dentre os quais destaca-se a Pirita (FeS_2 - Sulfeto de Ferro), que permanecem na cinza após a queima, podendo lixiviar em contato com a água no meio ambiente, pela ação das intempéries sobre os depósitos.

Assim, além das medidas de contenção física, Gothe (1990) recomenda a avaliação da poluição química potencialmente presente para a elaboração dos projetos de sistemas de controle e disposição final da cinza.

Quanto as emissões atmosféricas, a pesquisa realizada na Espanha por Chinchón *et al.* (1991), concluiu que a composição mineral e química da cinza depende, essencialmente, tanto da composição da fração inorgânica do carvão como da tecnologia de combustão. Desta conclusão, sugeriu a redução da temperatura de combustão de $1060 \pm 10^\circ \text{C}$ para 900°C , a fim de reduzir em aproximadamente 13% o valor da emissão de SO_2 .

Na atualidade, a caracterização carbonífera é realizada a fim de prever a eficácia do processo evolutivo da partícula de carvão durante a combustão. Para tanto, determinam-se: carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre, umidade, densidade, material volátil, cinza, poder calorífico e poder refletor, entre outros. A estes valores agregam-se características como tamanho de partícula, conteúdo de matéria mineral, grau de carbonificação e composição morfológica (Abreu, 1993).

Uma composição química aproximada do carvão mineral encontrado em Santa Catarina (base seca) deve oscilar nos seguintes valores: 47% de carbono, 3% de hidrogênio, 4% de enxofre, 5% de oxigênio, 1% de nitrogênio e 40% de cinza (ELETROBRÁS *apud* Viegas, 1997)

Abreu (1993) afirma que o carvão pode ser classificado pela variação de suas características físico-químicas, assim como, pelo seu grau de carbonificação, dependendo do país de origem e da futura utilização.

O autor sustenta que, no Brasil, é mais usada a classificação norte americana ASTM D3888 PART 26/1980, com considerações particulares definidas para certos tipos de carvão.

No entanto, Alpern & Nahuys *apud* Abreu (1993) comentam que essa classificação apresenta vários inconvenientes relacionados a utilização da cinza e a proteção adequada do meio ambiente, devendo ser complementada com dados adicionais sobre a matéria mineral e morfológica do carvão.

Abreu (1993) esclarece, ainda, que os carvões brasileiros são classificados em cada estado produtor segundo sua comercialização. Conforme mostrado no Quadro 4, a classificação é diferenciada pelas características de uso dos carvões.

Quadro 4 – Classificação brasileira do carvão

| Rio Grande do Sul | Santa Catarina | Paraná |
|--------------------|----------------------------|------------------------|
| Carvão tipo graúdo | Carvão pré-lavado | Carvão de vapor bruto |
| Carvão tipo graúdo | Carvão misto | Carvão de vapor grosso |
| Carvão de Candiota | Carvão de vapor grosso | Carvão de vapor fino |
| Carvão <i>rom</i> | Carvão metalúrgico | - |
| Carvão bruto | Carvão de vapor secundário | - |
| Carvão <i>tech</i> | - | - |

Fonte: PPGEMM/UFRGS *apud* Abreu (1993)

As definições e especificações dos três tipos de carvão mineral produzido no Brasil (carvão pré-lavado, carvão metalúrgico e carvão energético) estão regulamentadas pela Portaria Nº 100/87 do Conselho Nacional de Petróleo, publicada no Diário Oficial da União em 1º de abril de 1987 (Abreu, 1993).

O carvão energético, queimado nas usinas termelétricas brasileiras, deve apresentar as características descritas no Quadro 5. Como percebe-se, o carvão mineral CE 4500, queimado no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, apresenta baixo poder calorífico, e, por este motivo, alto conteúdo de cinzas.

Quadro 5 – Especificações dos carvões energéticos brasileiros

| Características | CE 6000 | CE 5900 | CE 5200 | CE 4700 | CE 4500 | CE 4200 | CE 3700 | CE 3300 | CE 3100 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Poder calorífico superior mínimo Base seca (Kcal/Kg) | 5700 | 5900 | 5200 | 4700 | 4500 | 4200 | 3700 | 3150 | 2950 |
| Granulometria (mm) | 35x0 | 50x0 | (*) | 50x0 | (*) | 50x0 | 50x0 | 50x0 | 75x0 |
| Umidade máxima total (%) | 15 | 20 | 10 | 19 | 10 | 19 | 15 | 17 | 15 |
| Conteúdo máximo de cinza (%) | 25 | 22 | 35 | 35 | 43 | 40 | 47 | 54 | 57 |
| Conteúdo máximo de Enxofre (%) | 6,5 | 1,5 | 2,5 | 1,5 | 3,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,0 |
| Índice de inchamento (FSI) | - | - | < 2 | - | < 2 | - | - | - | - |

* 25x0,60 – 60% máximo e 0,60x0,00 – 40% mínimo (mm)

Fonte: Portaria Nº 100/87 – CNP *apud* Abreu (1993)

2.3 GENERALIDADES SOBRE A CINZA PROVENIENTE DA QUEIMA DO CARVÃO MINERAL

O uso do carvão mineral na produção de energia elétrica origina um grande volume de resíduos sólidos que são constituídos, essencialmente, por:

- ♦ Cinza leve, também chamada de cinza volante (*fly ash*) ou cinza seca: Constituída por partículas extremamente finas (100% menor que 0,15mm), transportada pelo fluxo dos gases da combustão, coletada nos ciclones mecânicos ou precipitadores eletrostáticos, ou lançada na atmosfera.
- ♦ Cinza pesada, também chamada de cinza de fundo, cinza de grelha, cinza úmida, ou, ainda, na língua inglesa *bottom ash*: É mais pesada e de granulometria mais grossa que a cinza leve, caindo no fundo das fornalhas e gaseificadores, sendo freqüentemente retirada por um fluxo de água.
- ♦ Escória, ou cinza grossa (*slag* ou *boiler slag*): É a cinza originada na queima ou gaseificação do carvão granulado em grelhas móveis. Retirada pelo fundo da fornalha após ser resfriada com água. Frequentemente apresenta granulometria grosseira e blocos sinterizados, e teores de carbono não queimado entre 10 e 20% (Rohde, 1998).

As cinzas são formadas a partir de componentes não combustíveis de carvão e, também, de partículas não queimadas devido a combustão incompleta do carvão pulverizado na câmara de combustão, em temperatura variável entre 1200 e 1600°C.

Abreu (1993) explica que a quantidade desses resíduos depende do tipo de carvão utilizado, das instalações onde se queima este carvão e do sistema usado para retirada de cinza.

Este autor afirma que são produzidas quantidades maiores de cinza pesada em caldeiras de usinas onde o carvão britado é queimado em grelhas, como se observa na usina termelétrica de São Jerônimo, no Rio Grande do Sul. Já em caldeiras que utilizam o carvão pulverizado em suas câmaras de combustão, como é o caso de Charqueadas, Presidente Médici e Jorge Lacerda, a produção de cinza leve é superior a produção de

cinza pesada, devido a pulverização do carvão e do sistema utilizado para retirada das partículas sólidas em suspensão.

Gothe (1990) observa que as propriedades físico-químicas das cinzas provenientes das usinas termelétricas a carvão são função de vários fatores, entre os quais: *[i]* Composição do carvão; *[ii]* Grau de beneficiamento e moagem do carvão; *[iii]* Tipo, projeto e operação da caldeira; *[iv]* Sistema de extração e manuseio das cinzas.

“Devido a estes fatores, as cinzas vão mostrar variação na sua composição e propriedades físico-químicas, não só de usina para usina, mas de caldeira para caldeira na mesma usina e até numa mesma caldeira em tempos diferentes” (Gothe, 1990, p. 03).

Trata-se de uma material pozolânico, que segundo a NBR-12653 e a ASTM C618, “são silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio á temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes”.

A Tabela 1 mostra uma análise da composição química da cinza resultante da queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Cheriat & Rocha (1997) concluíram que, devido ao percentual de $\text{SiO}_2 + \text{AL}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ser maior que 70% e o teor de CaO inferior a 10%, as cinzas volante e pesada em estudo, pertencem a Classe F, segundo a classificação da ASTM C618.

Concluíram, também, que a cinza pesada possui maior teor de Fe_2O_3 em detrimento ao teor de SiO_2 e de AL_2O_3 , que está relacionado, principalmente, a presença de sulfito (pirita e macassita) nos carvões minerais.

A sílica (SiO_2) e a alumina (AL_2O_3) estão relacionadas, principalmente, ao conteúdo de argilo-minerais e quartzo. O conteúdo de carbono é evidenciado pelo valor da perda ao fogo.

Tabela 1 - Elementos maiores presentes na composição química da cinza leve e pesada

| CONSTITUINTES | CINZA PESADA (%) | CINZA LEVE (%) |
|--------------------------------|------------------|----------------|
| SiO ₂ | 55,98 | 58,00 |
| Al ₂ O ₃ | 26,73 | 27,48 |
| Fe ₂ O ₃ | 5,80 | 5,66 |
| MnO | 0,02 | 0,03 |
| MgO | 0,59 | 0,88 |
| CaO | 0,84 | 1,68 |
| Na ₂ O | 0,25 | 0,30 |
| K ₂ O | 2,59 | 2,74 |
| TiO ₂ | 1,33 | 1,41 |
| P ₂ O ₅ | 0,24 | 0,28 |
| Perda ao fogo (P. F.) | 4,61 | 1,15 |
| CO ₂ total | 13,99 | 2,30 |
| C orgânico | 3,79 | 0,63 |
| S total | 0,08 | 0,10 |
| Cl | 0,02 | 0 |

Fonte: Cheriaf & Cavalcante (1997)

Do ponto de vista mineralógico, a análise de difração ao raio x mostra que essa cinza é constituída, na maioria dos grãos, por uma fase vítrea sílicoaluminosa (Figura 3). Associada aos grãos de cinza, é comum a ocorrência de carbono amorfo.

A fase vítrea, de natureza sílicoaluminosa, é o principal constituinte dos grãos não opacos de forma arredondada, aspecto esponjoso e esférico da cinza (Figura 4). A presença de esferólitos vítreos é um parâmetro indicativo da boa qualidade da atividade pozolânica das cinzas estudadas.

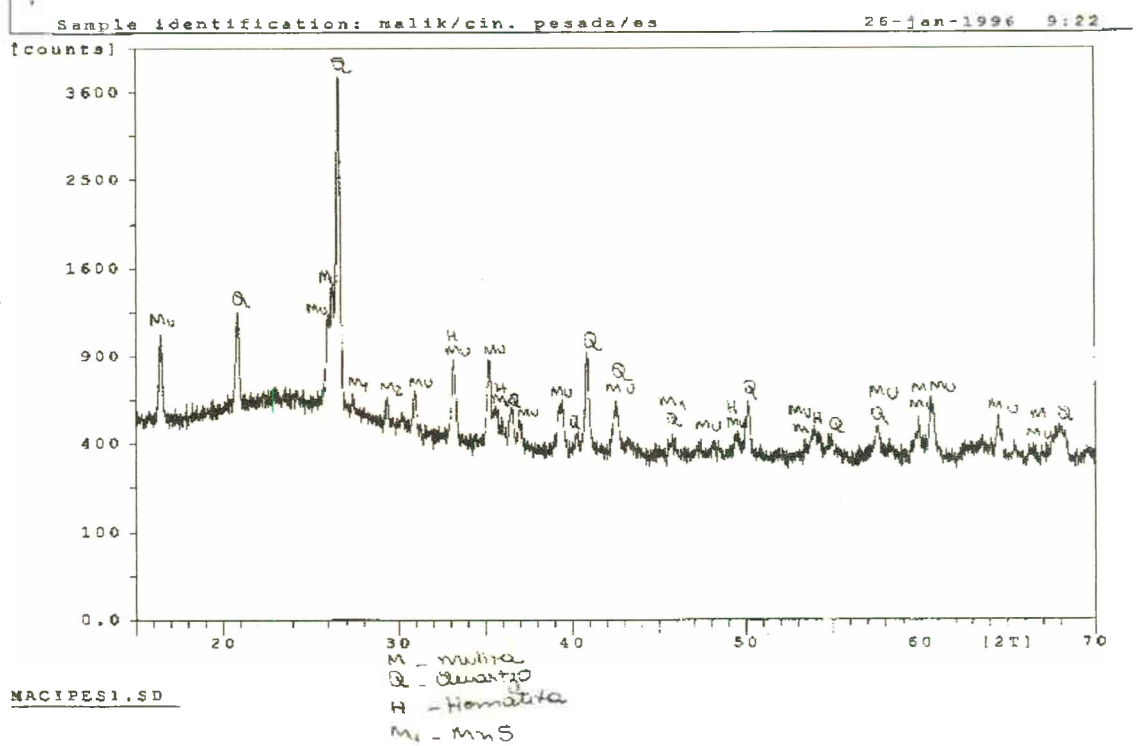


Figura 3 - Difração ao Raio X da cinza pesada

Fonte: Maia *et al.* (1998)

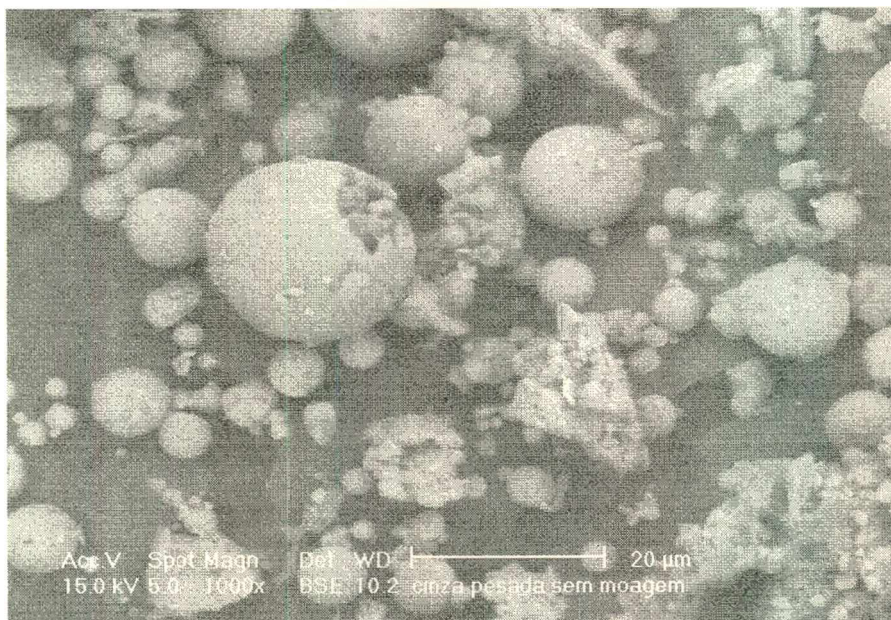


Figura 4 - Micrografia da cinza pesada

Fonte: Maia *et al.* (1998)

As restrições ambientais às cinzas de carvão mineral vem da condição de resíduo sólido que as mesmas possuem.

O potencial poluidor das cinzas depende, então, das concentrações dos elementos tóxicos e do grau de solubilização destes elementos no ambiente natural. A cinza contém metais pesados e deve ser submetida ao teste de lixiviação para classificação (Gothe, 1990).

De um modo geral, nas análises realizadas com a cinza produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, os resultados do teste de lixiviação não ultrapassaram os limites prescritos, classificando-a como resíduo não perigoso. O teste de solubilização indicou alguns parâmetros acima dos padrões de potabilidade da água, enquadrando esta cinza na classe dos resíduos não inertes, classificação da maior parte das cinzas de carvão mineral.

2.4 HISTÓRICO SOBRE O APROVEITAMENTO DA CINZA DO CARVÃO MINERAL

O aumento, em número e capacidade nominal instalada, das usinas termelétricas em todo o mundo, neste século, trouxe consigo preocupações relacionadas à grande quantidade de cinza remanescente da combustão do carvão mineral pulverizado, e aos problemas ambientais causados pela deposição desta cinza.

Desde os primórdios da geração térmica de energia, pensou-se na possibilidade de transformação do produto residual incômodo em um subproduto vendável. Tendo em vista a excelência da cinza e da escória como materiais de construção, o seu uso não tardou, precedendo estudos e pesquisas sistemáticas acerca das propriedades intrínsecas destes materiais, que só mais tarde passaram a ser realizados (Zwonok *et al.*, 1996).

A primeira utilização da cinza do carvão mineral volante como agente cimentante no concreto, aconteceu em alguns quilômetros da parede de retenção ao redor do Lago Michigan, em 1936, nos Estados Unidos. Em 1937, o Dr. Raymond E. Davis da Universidade da Califórnia expôs os resultados de ensaios, realizados com cinza volante de 15 fontes diferentes e 7 cimentos de composições distintas, ao *American Institute of*

Concrete. Em 1938, a *Chicago Sanitary District* utilizou de 20 a 50% de cinza volante em substituição ao cimento na construção de meia milha de pavimentação (Silva & Ceratti, 1980).

Silva & Ceratti (1980) relatam que os primeiros estudos para estabelecer especificações para o uso de cinza do carvão mineral na indústria cimenteira foram realizados em 1947 pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Em 1948 foi construída uma pista experimental para estudar tal aplicação. Em 1956 apareceu um cimento pozolânico que continha de 12 a 20% de cinza misturada ao clínquer no momento da moagem e, no ano seguinte surgiu o cimento artificial de alta resistência, com adição de 10% de cinza volante.

Naquele período já havia a preocupação relativa ao uso de cinza em obras que consumissem grandes quantidades de materiais, como é o caso do concreto massa (Zwonok *et al.*, 1996).

Zwonok *et al.* (1996) mencionam que os primeiros usos de cinza volante em concreto massa ocorreram em obras de reparos e canais de desvio temporário de usinas hidrelétricas.

Sobre esse assunto, tais autores relatam que o primeiro grande uso de cinza volante em concreto massa aconteceu nos reparos do túnel vertedouro da barragem Hoover Dam (Estados Unidos), em 1942; e o fato mais conhecido está associado a restauração da barragem Backer, no Colorado, em 1947.

O uso de cinza volante, em construções convencionais e de concreto massa nos Estados Unidos, foi inaugurado pelo *Federal Bureau of Reclamation* com a construção das barragens Hungry Horse e Canyon Ferry, em Montana, no período de 1948 a 1953. Ficaram conhecidos os excelentes resultados obtidos nestas obras, onde os teores da cinza, procedente de Chicago, variaram de 24 a 32% (Haddad *et al.*, 1997; Zwonok *et al.*, 1996).

O *Corps of Engineers* fundou seu primeiro laboratório para investigação de pozolana, em 1950. Esta ação resultou na elaboração do *Corps of Engineers Specification* e no primeiro emprego de cinza volante como substituta parcial do cimento em concreto pelo

Corps of Engineers, que aconteceu na Barragem Sutton (Rio Elk, estado da Virgínia), em 1958 (Silva & Ceratti, 1980).

Também no ano de 1950, o *U. S. Army Waterway Experiment Station* e o *Tennessee Valley Authority* iniciaram os experimentos com cinza volante em substituição parcial ao cimento (Zwonok *et al.*, 1996).

No Japão, as investigações iniciaram em 1951. O primeiro emprego de cinza volante aconteceu na construção da Railway Hall, em 1952; e da Sudagai Dam, em 1953 (Numata *apud* Haddad *et al.*, 1997).

Esses estudos e aplicações tiveram grandes repercussão, como pode ser observado na declaração de Zwonok *et al.* (1996, p. 10): “Os estudos sistemáticos que passaram a ser realizados com as cinzas entre as décadas de cinquenta e sessenta, conduziram a um progressivo aumento em sua utilização”.

Em 1953, a ASTM criou um método de amostragem e de ensaios da cinza volante a ser utilizada como aditivo no concreto de Cimento Portland, tendo sido sucessivamente modificado (Silva & Ceratti, 1980).

Na década de sessenta, a cinza volante produzida em usina termelétrica foi estudada e normalizada em vários países. Estas normas, apresentadas no Quadro 6, são renovadas periodicamente conforme as exigências tecnológicas e ambientais vigentes (Abreu, 1993).

Quadro 6 – Normas de utilização de cinza volante em vários países

| País | Norma | País | Norma |
|-------------|-------------------|--------------|--------------|
| Alemanha | DIN 1045 | França | P 18505 |
| Austrália | AS 1129/AS 1130 | Grã Bretanha | BS 3892 |
| Austria | Norma B 3320 | Holanda | CUR 12 |
| Canadá | CAN 3-A23.5 – M82 | Índia | IS: 3812 |
| Coreia | KS L 5405 | Japão | JIS A 6201 |
| Dinamarca | NP 1883 | URSS | GOST 6269 |
| Espanha | UNE 83 415 | USA | ASTM C618 |
| Finlândia | RAK MKB4 | Suécia | PFS 1985 |

Fonte: Hinczak e Roper *apud* Abreu (1993)

Na opinião de Zwonok *et al.* (1996), atualmente, tanto a cinza volante como a cinza pesada e as escórias estão firmemente estabelecidas a nível mundial, principalmente na Europa e América do Norte, como subprodutos da geração térmica comercialmente viáveis.

No Brasil, onde não existe normalização para o uso da cinza do carvão mineral produzida em usina termelétrica, o emprego sistemático de cinza volante como pozolana iniciou na década de sessenta, com a construção das estruturas de concreto do aproveitamento hidrelétrico de Jupia (1.411MW) pela, então, CELUSA - Centrais Elétricas de Urubupunga S.A. (Abreu, 1993).

Nessa obra, empregou-se a cinza resultante da queima de carvão mineral nas termelétricas de Charqueadas e Candiota I (atual Presidente Médici) como material pozolânico, em substituição ao Cimento Portland, em porcentagens que chegaram a 30%, apresentando notáveis vantagens técnicas e econômicas (Zwonok *et al.*, 1996).

Desde então, devido as características tecnológicas conferidas em Jupia, o uso de cinza volante, como material pozolânico no concreto, foi adotado na construção das grandes represas brasileiras (Zwonok *et al.*: 1996; Abreu: 1993).

Ademais, a cinza tem sido usada como pozolana pela indústria cimenteira brasileira desde 1969, na fabricação do Cimento Portland Pozolânico e do Cimento Portland Composto (Kihara & Scandiuzzi, 1992).

A fabricação de Cimento Portland Pozolânico no Brasil, que se iniciou em 1969, pela CIMENSUL, visava o aproveitamento da cinza leve proveniente da termelétrica de Charqueadas.

2.5 PANORAMA MUNDIAL SOBRE O APROVEITAMENTO DA CINZA DO CARVÃO MINERAL

Na Índia, Haddad *et al.* (1997) apontam o uso da cinza volante na manufatura de vários tipos de cimento; produção de agregados leves para concreto; produção de blocos de concreto celular e de lajes; produção de tijolos e telhas de argila e cinza volante queimadas; produção de tijolos de cinza volante – areia - cal; uso de cinza volante como enchimento estrutural em estradas, minas abandonadas; e para recuperação de solos.

Sobre esse país, o World Bank (1998) estima que o aproveitamento dos resíduos de carvão mineral não exceda 5% do valor total produzido. Explica, ainda, que a grande quantidade de cinza é devida ao baixo poder calorífico do carvão usado.

Estatísticas da indústria japonesa de energia, de 1984 a 1987, mostraram que, em média, 44% da cinza de carvão foi aproveitada naquele país. Deste valor, em 1986, 54% foi usado em aterro, 27% em cimento e concreto, 2% em produtos de cimento e concreto, e o restante em outras aplicações (Haddad *et al.*, 1997).

Nos países europeus, Pera (1996) comenta que a produção de cimento com cinza volante, no ano de 1992, foi da ordem de 4,7%. Relata, também, que a adição de cinza volante no concreto é expressiva no Reino Unido, na Espanha, na Alemanha e na França.

Sobre o assunto, Miller (1994) relata que a cinza de combustível pulverizado (PFA) e a escória de alto forno granulada (GGBS) são usadas, para adições ou substituições, como materiais cimentantes no concreto de cimento portland comum, no Reino Unido e no restante da Europa.

No México, a quantia de cinza é insignificante e de baixa qualidade, não sendo usada nas indústrias de cimento e de concreto. Contudo, o México lidera a produção de cimento com mistura na América do Norte. Isto porque cerca de 60% do cimento produzido no México incorpora pozolana natural (Malhota & Hemmings, 1995)

Manz, em 1984, afirmou que, nos Estados Unidos, aproximadamente 20% da cinza produzida na combustão do carvão era usada em cimento, concreto e estabilização de solos. Para o percentual restante não havia mercado.

Jablonski & Tyson (1988) quantificam que, em 1986, 21,7% da cinza remanescente do carvão mineral teve emprego nos Estados Unidos.

De maneira análoga, Behr-Andres *et al.* (1994) comentam que, em torno de $\frac{1}{4}$ da cinza proveniente da queima do carvão mineral, produzida nas usinas de energia dos Estados Unidos, é aproveitada, especialmente, em materiais de construção. O valor remanescente é disposto em aterros.

O trabalho de Malhota & Hemmings (1995) conclui que a produção de cimento misturado nos Estados Unidos é somente marginal, se comparado com a produção total de cimento daquele país.

Segundo tais autores, nos Estados Unidos existe apenas uma indústria cimenteira que produz Cimento Portland Pozolânico, em quantia limitada. A *Dundee Cement Company*, localizada na cidade de Dundee, estado do Michigan, produz um cimento com 20% de cinza volante (ASTM C618 Classe F) e 80% de Cimento Portland Comum. O cimento com cinza volante não é produzido no Canadá.

Malhota & Hemmings (1995) afirmam também que, no Canadá, menos que 10% da cinza volante tem sido usada na mistura do concreto. De maneira semelhante, nos Estados Unidos, menos que 10% da cinza leve tem sido usada no concreto como substituta do cimento.

Sobre o assunto, a *Civil Engineering* (1997) relata a divulgação na *Business Communications Co.*, de Norwalk, da busca por mercados potenciais para subprodutos da combustão do carvão (CCBS) que os Estados Unidos estão realizando, a fim de aumentar em 7,9% até o ano 2005, o consumo de cinza do carvão mineral, objetivando diminuir os aterros industriais.

Zwonok *et al.* (1996) informam que, apesar das muitas aplicações criadas para os resíduos da combustão do carvão mineral, o aproveitamento, hoje, em média, atinge 30% do total gerado, e varia de continente para continente, conforme o Quadro 7.

Quadro 7 - Usos percentuais aproximados dos resíduos da combustão de carvão

| Continente | Porcentagem de uso |
|-------------------|---------------------------|
| Europa | 42,50 |
| Ásia | 30,00 |
| América | 27,50 |
| África | 19,00 |
| Oceania | 10,50 |

2.6 POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO TECNOLÓGICA DA CINZA DO CARVÃO MINERAL

De maneira geral, os grupos industriais que utilizam o subproduto da queima do carvão mineral, podem ser divididos em três categorias principais (Silva *et al.*: 1998; Zwonok *et al.*: 1996; Jablonski & Tyson: 1988): construção, fabricação e estabilização de resíduos.

A categoria construção é, normalmente, o maior usuário dos subprodutos do carvão mineral. As maiores aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral, dentro da categoria construção, existem tanto para a cinza leve como para a cinza pesada.

A cinza pode ser usada no concreto, sob três formas:

- (a) Como constituinte do concreto: Introduzida no misturador da mesma maneira que o cimento portland e o agregado;
- (b) Como componente do cimento: Moída com o clínquer portland ou misturada ao Cimento Portland;
- (c) Como matéria-prima na fabricação do Cimento Portland, no estágio de pré-queima.

O uso de cinza substituindo parte do clínquer portland, é um modo seguro e barato de removê-la da superfície do solo, contribuindo para a conservação da energia usada na fabricação de cimento, e de recursos minerais (calcário e argila) cuja exploração geralmente agride o meio ambiente (Isaia, 1996).

A cinza, quando adicionada diretamente na dosagem do concreto, proporciona propriedades especiais ao produto, sendo utilizada em construções que envolvem grandes volumes de concretos, como ocorre na execução das barragens de usinas hidrelétricas.

Além dessas implicações tecnológicas, na maior parte dos casos, os principais benefícios derivados da utilização de concretos de cimento portland, nos quais tenha ocorrido a incorporação de cinza, quer na fabricação de cimento, quer na ocasião da mistura são (Abreu, 1993; Kihara & Scandiuzzi, 1992):

- ◆ Redução no consumo de cimento para conseqüente redução no custo;
- ◆ Redução no calor de hidratação;
- ◆ Melhora na trabalhabilidade;
- ◆ Ganho nas resistências mecânicas a idades mais avançadas;
- ◆ Redução na permeabilidade;
- ◆ Diminuição da retração final;
- ◆ Aumento na durabilidade;
- ◆ Propriedades de resistências a sulfatos e, conseqüentemente, a solos agressivos;
- ◆ Diminuição no emprego de aditivos.

Todavia, é bom lembrar que a cinza pode alterar a cor do concreto, visto que o carvão da cinza torna o concreto mais escuro. Isto pode ser importante do ponto de vista da aparência, especialmente quando se aplicam concretos com e sem cinza, lado a lado (Neville, 1997).

No caso do cimento portland pozolânico, o catálogo técnico da Companhia de cimento Itambé – fabricante nacional de Cimento Portland - não recomenda seu uso para:

- ◆ Aplicação em argamassa armada;
- ◆ Concreto para desforma rápida, cura por aspersão ou produto químico e;
- ◆ Concreto protendido pré-tensionado.

Silva *et al.*(1998), Zwonok *et al.* (1996) e Jablonski & Tyson (1988) relatam, ainda, outras aplicações tecnológicas da cinza do carvão mineral na construção, descritas a seguir.

A cinza também pode ser empregada em argamassa, de forma semelhante ao concreto. Na argamassa, a cinza pode substituir certa quantidade de cimento ou, ainda, substituir certa quantidade de areia mantendo-se constante a proporção de cimento.

Nos processos de estabilização sob pressão, a cinza do carvão mineral pode ser usada, tanto na forma pura como misturada ao cimento portland ou a cal. Tais processos são empregados para construção de cortinas de vedação sob grandes barragens e ao redor de fundações; para reforçar aterros, estradas de ferro, encontro de pontes; e preencher vazios em túneis, esgotos e minas abandonadas. A percentagem de cinza, usada na pasta para injeção, pode variar de 20 a 90%, em peso.

O uso da cinza (leve e pesada) do carvão mineral na construção de aterros estruturais também tem sido documentado.

Escória e cinza pesada podem ser usadas, ainda, como bases estabilizadas e solos modificados e estabilizados para rodovias, pistas e edificações, oferecendo após compactados com energia e teor de umidade definidos, uma base resistente. Neste caso, tanto o Cimento Portland como a cal tem sido empregados para estabilizar a cinza e a escória.

A cinza leve pode ser empregada como filler mineral em pavimentos de misturas betuminosas. As vantagens deste uso incluem baixo custo, distribuição granulométrica apropriada e resistência superior a ação da água.

A categoria fabricação, por sua vez, apesar do crescimento mostrado nos últimos anos, tanto na quantidade de resíduos utilizados como nas alternativas de uso; compõe o grupo industrial que possui, provavelmente, o maior potencial para desenvolver novas aplicações, aumentando significativamente o emprego de resíduos sólidos industriais.

Destacam-se, nessa categoria, as empresas voltadas à fabricação de componentes e elementos pré-fabricados e, ainda, artefatos de cimento.

As aplicações para a cinza proveniente da queima do carvão mineral na fabricação, citadas por Silva *et al.* (1998), Zwonok *et al.* (1996) e Jablonski & Tyson (1988), são:

- (a) Artefatos de concreto celular autoclavado;
- (b) Artefatos de cinza-cal (sílico-calcários) autoclavados;
- (c) Artefatos de cimento;
- (d) Artefatos cerâmicos: artefatos cerâmicos de cinza e artefatos cerâmicos de cinza com incorporação de argila;
- (e) Artefatos sinterizados;
- (f) Artefatos de cinza-cal (sílico-calcários) curados em meio ambiente;
- (g) Agregados leves;
- (h) Concreto leve;
- (i) Filler em plástico.

A respeito da categoria estabilização de resíduos, Marciano Jr *et al.* (1996) comentam que alternativas bem sucedidas sobre a incorporação ou imobilização de rejeitos com cimento e em peças de concreto vêm sendo pesquisadas e empregadas na Europa e na América do Norte.

Nesse sentido, um estudo realizado por Weng & Huang (1994) comprovou que a cinza leve coletada na empresa de energia de Delmarva, estado de Newark, mostrou ser um potencial absorvente de metais pesados no tratamento de efluentes industriais contaminados. Embora os autores comentem a necessidade de mais testes, a argamassa preparada com 10% da cinza leve que absorveu os metais pesados, apresentou resistência, aos 56 dias, semelhante e até superior a argamassa de referência.

Parsa *et al.* (1996) apresentam um método, simples e de baixo custo, para estabilização/solidificação de resíduos perigosos, usando cinza volante classe C (segundo classificação da ASTM C618). O processo, que envolve a mistura e compactação do resíduo e da cinza volante em um bloco monolítico, obteve resultados satisfatórios.

Prim *et al.* (1998) obtiveram resultados importantes quando empregada a cinza pesada, oriunda do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, na estabilização/solidificação do lodo gerado pela indústria têxtil catarinense.

De maneira análoga, Behr-Andres *et al.* (1994), enumeram quatro categorias de uso para a cinza proveniente das fornalhas de carvão pulverizado: *[i]* Produtos para construção e de enchimento estrutural; *[ii]* Aplicações no solo com propósitos agrícolas; *[iii]* Aplicações em gerenciamento de resíduos; e *[iv]* Como material de aterro. Tais utilizações também são comentadas nos trabalhos de Indraratna *et al.* (1991), de Manz (1984) e de Roy *et al.* (1981).

Estrella (1996) aponta, no Quadro 8, usos encontrados em diferentes bibliografias para as cinzas leve e pesada. Desses, no Brasil, o principal mercado está na fabricação de Cimento Portland Pozolânico.

Quadro 8 - Características da cinza volante e pesada, produtos, vantagens e usos

| Resíduo | Característica | Produto elaborado | Vantagens |
|---------------|---|--|--|
| Cinza pesada | Subproduto da combustão do carvão; partículas com tamanho de 0,08 a 20mm; forma angular; muito porosa | Cimento Agregado leve Sub-base de solo estabilizado Telha | Economia de energia Aumento da capacidade de produção para um gasto de capital relativamente mais baixo |
| Cinza volante | Subproduto da combustão de carvão; menores partículas carregadas pelos gases da combustão para chaminés Composição: SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , FeO ₃ Em menor quantidade: CaO, MgO e álcalis (Na ₂ O) | Cimento Concreto Agregado leve Sub-base de solo estabilizado Filler de asfalto Tijolo | Economia de energia Aumento da capacidade de produção para um gasto de capital relativamente mais baixo Textura fina Baixa massa específica Facilidade de combinação com a cal livre (propriedade pozolânica) Presença de partículas esféricas Alta capacidade de absorção de água |

CAPÍTULO 3

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

No capítulo anterior foram abordadas a geração de energia térmica no país e sua interação com a produção de cinza. Neste capítulo, um novo passo é dado para o aproveitamento de resíduos sólidos industriais no âmbito da construção civil. Apresenta-se o tema, as avaliações a serem realizadas, as normas técnicas pertinentes a aplicação tecnológica da cinza do carvão mineral, assim como os principais estudos sobre a fabricação de componentes com incorporação de cinzas.

3.1 BREVE INTRODUÇÃO AO TEMA

Desde meados da década de 70, observa-se uma crescente atividade de pesquisa e reflexão em torno do aproveitamento de resíduos sólidos industriais na construção civil (Haddad *et al.*, 1997).

Essa pesquisa tornou-se mais sistemática nos últimos anos. No Brasil, isto se comprova pelos trabalhos publicados no *Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil* (1996) e nos anais dos *Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído – ENTAC* (1993/1995/1998).

O Quadro 9 apresenta resíduos já pesquisados no país, bem como a opinião de John (1997) sobre o estágio de desenvolvimento da pesquisa avaliada. As áreas em cinza

forte indicam conhecimento consolidado; cinza fraco, conhecimento já desenvolvido; e branco, conhecimento incipiente ou inexistente.

Quadro 9 – Resíduos usados na construção civil e grau de desenvolvimento da pesquisa no Brasil

| Resíduo | Caracterização | Risco ambiental | Alternativas de reciclagem | Estudos de laboratório | Risco ambiental do novo produto | Viabilidade econômica | Desenvolvimento do processo | Controle qualidade normalização | Transferência de tecnologia | Novas tecnologias |
|---------------------------|----------------|-----------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Escória de alto forno | | | | | | | | | | |
| Cinza volante | | | | | | | | | | |
| Escória de aciaria | | | | | | | | | | |
| Cinza de grelha | | | | | | | | | | |
| Entulho de obra | | | | | | | | | | |
| Cinza de casca de arroz | | | | | | | | | | |
| Escória de cobre | | | | | | | | | | |
| Cinza de xisto betuminoso | | | | | | | | | | |
| Fosfogesso | | | | | | | | | | |
| Fibras vegetais | | | | | | | | | | |
| Microsilica | | | | | | | | | | |
| Cal de carbureto | | | | | | | | | | |
| Resíduos de madeira | | | | | | | | | | |
| Arcia de fundição | | | | | | | | | | |
| Beneficiamen to de rochas | | | | | | | | | | |
| Aparas de plástico | | | | | | | | | | |

Fonte: John (1997)

Nas sociedades de consumo, as principais objeções aos resíduos sólidos enquadram-se em cinco categorias: *[i]* Risco à saúde pública; *[ii]* Comprometimento estético da paisagem; *[iii]* Ocupação do espaço; *[iv]* Custo de recolhimento e processamento; e *[v]* Degradação dos recursos naturais (Maia *et al.*: 1995; Nolasco & Agnesini: 1993).

3.2 O RESÍDUO COMO MATÉRIA-PRIMA DE MATERIAIS E COMPONENTES DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De maneira geral, a construção de habitações é baseada na utilização de aglomerantes tradicionais (basicamente cimento e cal). A pesquisa de Maia *et al.* (1995), sobre sistemas construtivos elaborados na Vila Tecnológica de Curitiba¹, constatou a predominância de produtos derivados do cimento e da madeira, respectivamente, conforme mostra o Quadro 10.

Quadro 10 – Número de sistemas construtivos por tipo de material na Vila Tecnológica de Curitiba

| Material empregado | Nº de sistemas construtivos |
|--------------------|-----------------------------|
| Painel de concreto | 8 |
| Madeira | 5 |
| Tijolo de cimento | 1 |
| Argamassa armada | 1 |
| Concreto celular | 1 |
| Bloco de concreto | 1 |
| Bloco intertravado | 1 |
| Total | 18 |

Fonte: Maia *et al.* (1995)

Haddad *et al.* (1997) explicam que os produtos à base do cimento, como é o caso do concreto, têm, genericamente, a seguinte composição básica:

| | | | | | | |
|-------------------------------|---|----------------------------|---|-------------------------------------|---|------|
| (1) | + | (2) | + | (3) | + | (4) |
| Aglomerante (cimento, cal) | | Agregado (brita, areia) | | Reforço à tração (barras de aço) | | Água |

¹ Vila Tecnológica: Trata-se de um programa de difusão de tecnologia para construção de habitação de baixo custo que reúne sistemas industrializados, em caráter experimental, numa vila tecnológica. A Vila Tecnológica de Curitiba/PR compreende 120 unidades habitacionais, das quais 100 são financiadas para avaliação durante o uso e 20, para alternativas de construção popular procedentes de vários estados brasileiros (Maia *et al.*, 1995).

Nesses produtos, a presença do resíduo ocorre pela sua inserção em qualquer uma das três primeiras fases, exercendo as funções de aglomerante, de inerte ou de incremento da resistência à tração. Como exemplo, a escória de alto forno tem sido bastante usada na fase (1) como aglomerante, ou na fase (2) como inerte, e as fibras vegetais exercem, normalmente, a fase (3).

Nas habitações populares, os materiais e componentes de construção são responsáveis por aproximadamente 80% do seu custo e, devido ao alto consumo energético, têm tendência crescente. O aumento da oferta pode ser um fator importante no barateamento das construções, contribuindo para a minimização do problema habitacional cujo déficit estimado chega a 10 milhões de unidades (Haddad *et al.*, 1997).

Ademais, “a produção de materiais de construção possui significativo impacto ambiental” (John, 1996, p. 22). Neste sentido, o *European Network of Building Research Institutes* (ENBRI) *apud* John (1996) explica que o aproveitamento de resíduos em materiais de construção permite:

- (a) Reduzir o volume de extração de matérias-primas;
- (b) Conservar matérias-primas não renováveis;
- (c) Reduzir o consumo de energia;
- (d) Diminuir a emissão de poluentes como CO₂;
- (e) Melhorar a saúde e a segurança da população.

Dessa forma, o uso de resíduos sólidos em produtos de construção torna possível a economia de energia não renovável (como petróleo e carvão mineral), a preservação de áreas de mata (no caso do carvão vegetal) e a economia de investimentos na geração de energia elétrica. Também reduz a área e o problema de disposição final.

3.3 AVALIAÇÃO DO RESÍDUO QUANTO AO SEU POTENCIAL DE USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na abordagem desse assunto, uma das preocupações iniciais é a classificação dos resíduos quanto ao seu potencial de uso. Neste sentido, Cincotto (1988) relata o trabalho desenvolvido pelo comitê de pesquisas em materiais residuais e subprodutos para construção de rodovias da *Organization for Economical Cooperation and Development* (OECD), que propõe classes de resíduos em função de sua afinidade como material de construção.

O Quadro 11 mostra uma relação genérica de resíduos e subprodutos para aplicações gerais e como cimentantes na construção. Os materiais foram colocados por ordem de valor para a construção de rodovias em cada classe.

- ◆ Classe 1: Materiais com potencial de aplicação máxima. Possuem as melhores propriedades tanto na sua ocorrência natural, na forma processada ou combinada, ou quando já registrado um desempenho satisfatório;
- ◆ Classe 2: Materiais que requerem um processamento mais extensivo e/ou quando as suas propriedades não são tão adequadas quanto às da classe 1;
- ◆ Classe 3: Materiais que se mostram menos promissores dos que os materiais das classes 1 e 2, recomendados somente para casos isolados;
- ◆ Classe 4: Mostram-se muito pouco promissores como materiais para construção civil.

Quadro 11 - Avaliação global dos resíduos e subprodutos (omitida a Classe 4)

| Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Escória de alto forno | Escória de fosfato | Refugos de ouro |
| Cinza volante | Escória de cobre | Refugos de cobre |
| Enxofre | Finos de fabricação de cimento | Refugos de chumbo e zinco |
| Escória de refino | Resíduos de pedreiras | Moinha de coque |
| Cinza de caldeira e de grelha | Refugos de minas | Areia de fundição |
| Escória de níquel | Resíduo de ardósia | Resíduos de refratário e Cerâmica |
| Resíduos de demolição | Refugos de feldspato | |
| Rejeitos de mina de carvão | Pneus e borracha | Resina |
| Resíduos de xisto betuminoso | Escórias de zinco e de chumbo | Lignina |
| Refugos de taconita | Cinza mista | Resíduos de minas de potássio |
| Areia de tratamento de argila | Resíduos de incineração | Cinzas de pirita |
| Refugos de minérios de ferro | | Resíduos de vidro |
| Resíduo de pirólise | | Resíduos de plástico |

Fonte: OECD *apud* Cincotto (1988)

As dificuldades de utilização de um resíduo sólido industrial na construção civil podem ser de origens diferentes, tanto técnicas quanto econômicas. Numata *apud* Haddad *et al.* (1997) relaciona as causas destas dificuldades:

- (a) Falta de controle de qualidade (variabilidade inerente) do material e de aplicação do conceito garantia;
- (b) Inadequação de especificações e normas técnicas;
- (c) Preocupação quanto as responsabilidades civis nas inovações tecnológicas;
- (d) Insuficiência de pesquisa e desenvolvimento;
- (e) Processos industriais e preços baseados em matérias-primas virgens e em produtos convencionais;
- (f) Resistência da construção em adotar novos materiais e novas tecnologias;
- (g) Distribuição geográfica descentralizada de pequenas quantidades de resíduos;

- (h) Custos de classificação, coleta, armazenamento e processamento;
- (i) Falta de informação sistematizada, particularmente entre setores industriais ou de projeto de construções diversas;
- (j) Restrições ambientais para a aplicação de resíduos em produtos convencionais.

Dessa forma, é relevante frisar a necessidade da definição de critérios para avaliação dos resíduos a serem utilizados na construção civil e nas demais indústrias.

Cincotto (1988) sustenta os estudos feitos pelo OECD, que indicam critérios gerais de avaliação de subprodutos e resíduos para uso na construção civil. De maneira análoga, Estrella (1996) enumera tais aspectos em seu trabalho.

- ♦ A quantidade disponível em um local deve ser suficientemente grande para justificar o desenvolvimento dos sistemas de manuseio, processamento e transporte;
- ♦ As distâncias de transporte envolvidas devem ser competitivas com os materiais convencionais;
- ♦ O material não deve ser potencialmente nocivo durante a construção ou posteriormente à sua incorporação na estrutura.

3.3.1 Avaliação técnica

A primeira questão a ser avaliada, quando da possibilidade de uso do resíduo, deve ser seu desempenho técnico como material de construção. Menor atenção para tal aspecto pode conduzir seu uso ao descrédito (Haddad *et al.*, 1997).

Nesse sentido, John (1996) recomenda uma caracterização envolvendo aspectos químicos, físicos e de risco ambiental, tanto em seus valores médios como em sua dispersão ao longo do tempo.

Esse autor enfatiza que a caracterização química deve caracterizar e quantificar as diferentes fases eventualmente presentes, incluindo teor de umidade e de voláteis. Também deve considerar, sempre que pertinente, a presença de compostos químicos, que, mesmo em baixas concentrações possam apresentar risco aos trabalhadores,

usuários e ao meio ambiente, quando da produção, manipulação, utilização e disposição final.

De maneira análoga, Cavalcante & Cheriaf (1996, p. 37) enfatizam: “É de fundamental importância conhecer as características físico-químicas do resíduo a ser incorporado e de identificar o nível de poluentes, pois estes dados vão estabelecer os ensaios necessários para a avaliação do produto, e verificar se a estrutura formada tem influência na lixiviação de certos elementos”.

Para determinar as características químicas e algumas características físicas, avaliar os riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, e proporcionar manuseio e destino adequado, são previstas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR-10004: Resíduos sólidos - Classificação; NBR-10005: Lixiviação de resíduos - Procedimento; NBR-10006: Solubilização de resíduos - Procedimento; NBR-10007: Amostragem de resíduos.

A norma NBR-10007 fixa as condições exigíveis para a amostragem, preservação e estocagem das amostras de resíduos sólidos necessárias à sua classificação.

A norma NBR-10004 classifica os resíduos sólidos (exceto os radioativos) quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Enquadram-se como resíduos perigosos aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente.

Para avaliar a periculosidade do resíduo, a norma considera: inflamabilidade; corrosividade; reatividade; toxicidade; e patogenicidade.

A toxicidade dos resíduos é avaliada, principalmente, pelo teste preconizado na norma NBR-10005, através da comparação dos teores de elementos tóxicos no lixiviado obtido com os limites definidos na norma.

A norma NBR-10004 lista, ainda, uma série de resíduos perigosos específicos. Oferece, também, listagens de substâncias que conferem periculosidade aos resíduos, de substâncias agudamente tóxicas e de substâncias tóxicas. Quando presentes no resíduo, este deve ser melhor avaliado para sua caracterização.

Por outro lado, classificam-se como resíduos inertes, aqueles que, submetidos ao teste de solubilização, segundo a norma NBR-10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem na norma, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Os resíduos não inertes, por exclusão, são aqueles que não se enquadram nem como resíduos perigosos nem como resíduos inertes, nos termos da norma NBR-10004, e podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilização de constituintes em água.

Além de identificar as principais propriedades que possam classificar um resíduo como sendo utilizável ou não na construção civil, em substituição parcial ou total da matéria-prima convencional, Cavalcante & Cheriaf (1996) recomendam avaliar o possível impacto ambiental devido ao seu uso, as características técnicas relacionadas ao desempenho estrutural e a estabilidade do novo produto.

3.3.2 Avaliação ambiental

Para Haddad *et al.* (1997), a deposição de resíduos, especialmente em regiões industriais, é um problema ambiental de complexidade crescente, que oferece elevados custos e expõe o meio ambiente a riscos de contaminação pela concentração de um grande número de substâncias potencialmente nocivas em um mesmo local. A incorporação destes resíduos na construção habitacional, desde que tomadas as devidas medidas de controle dos riscos à saúde, tanto dos trabalhadores envolvidos na sua produção quanto dos usuários finais, inertiza estes elementos nocivos, evitando o contato direto de tais produtos com a água, eliminando quase totalmente os riscos de contaminação.

Além disso, nos grandes centros urbanos e industriais, têm ocorrido a elevação do custo de deposição dos resíduos devido a exiguidade de espaços apropriados.

Sobre o assunto, Bellia (1996) explica que não existem mercados que possam ser usados para determinar diretamente o valor da grande maioria dos bens e serviços ambientais. Este fato exige a criação de soluções alternativas que permitam incorporar seu valor nas

análises econômicas. Neste sentido, autores como Pearce e Serôa da Motta *apud* Bellia (1996) indicam que o valor do meio ambiente é representável, economicamente, pela seguinte expressão:

$$\text{Valor econômico total} = \text{Valor de uso} + \text{Valor de opção} + \text{Valor de existência}$$

Onde, o valor de uso é aquele atribuído pelas pessoas que realmente usam ou usufruem do recurso ambiental em risco; o valor de opção corresponde ao valor dado pelas pessoas que não o usufruem no presente, mas tendem a lhe atribuir um valor para uso futuro; e valor de existência é a parcela mais difícil de conceituar, pois representa um valor atribuído à existência do recurso, independente do seu uso atual ou futuro.

3.3.3 Avaliação econômica

O aproveitamento do resíduo em materiais e componentes nem sempre é viável dada à sua quantidade e/ou seu custo. O nível de aproveitamento é determinado pela participação do resíduo em proporção ao total de matéria-prima virgem usada no processo industrial.

Esse nível de aproveitamento depende da relação de custos entre a matéria-prima virgem e o resíduo. O custo da matéria-prima virgem é resultante do custo de extração, escassez das reservas e do custo de processamento. O custo do resíduo como matéria-prima depende, por outro lado, da coleta, separação e transporte.

Haddad *et al.* (1997) consideram que quanto maior for o custo da matéria-prima virgem em relação ao custo do resíduo substituto, maior será o estímulo econômico para a coleta de resíduos; aumentando as possibilidades de absorção, da coleta e do transporte, como ocorre com o alumínio e o aço. As formas de coleta e transferência para o processador de matéria-prima determinam o nível de qualidade e de aproveitamento dos resíduos.

Para produtos usados na construção civil, um sistema de análise de custos adaptado de Fries (1988) envolve:

- ♦ Custo dos equipamentos;
- ♦ Custo das instalações;

- ◆ Custo anual de manutenção dos equipamentos;
- ◆ Custo da mão-de-obra para controlar os equipamentos;
- ◆ Custo dos resíduos;
- ◆ Custo de transporte dos resíduos.

Segundo Neves (1982), o conceito de eficiência na utilização de capital depende da esfera em que se situa o projeto de investimento. Ao se considerar o ponto de vista da empresa privada, a avaliação das alternativas de investimento é realizada com base nos preços de mercado dos fatores de produção e dos produtos finais, uma vez que são estes, realmente, os custos e benefícios derivados do projeto.

Do ponto de vista da comunidade como um todo, para uma avaliação da eficiência do projeto, Neves (1981) enumera outros elementos que devem entrar em consideração, tais como:

- ◆ Efeitos externos gerados pelo projeto, sejam eles negativos (poluição, destruição da fauna ou da flora, outros) ou positivos (aproveitamento para pesca e turismo de um lago resultante de um represamento);
- ◆ Distorções de preço dos fatores de produção (mão-de-obra, matérias-primas, outros);
- ◆ Distorções cambiais;
- ◆ Enquadramento do projeto de investimento nos planos de desenvolvimento governamentais. Este tipo de investimento (sob a ótica governamental) é chamado, em geral, de análise social do projeto ou de custo-benefício.

Além disso, Bellia (1996) alerta para a necessidade de incorporar na análise, também, os custos que deverão ser incorridos para obediência dos parâmetros ambientais, estabelecidos legalmente, para emissões gasosas, efluentes líquidos e descartes sólidos.

3.4 NORMAS TÉCNICAS

No Brasil não existe regulamentação para o uso da cinza oriunda da queima do carvão mineral, como acontece na França e em outros países. Todavia, existem ensaios normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para avaliação da atividade pozolânica de cinza e para adição da cinza do carvão mineral ao Cimento Portland.

As normas técnicas brasileiras e internacionais que tratam da avaliação da atividade pozolânica para a cinza do carvão mineral foram estudadas nos trabalhos de Gava (1999) e Isaia (1995 e 1996).

A fabricação de Cimento Portland com aproveitamento de cinza proveniente da queima do carvão mineral, no Brasil, atualmente, é embasada nas seguintes normas técnicas:

- ♦ NBR-5732/ABNT: Cimento Portland Comum – Para o Cimento Portland Comum com adição (CP I-S), a norma permite a adição de 01 a 05% (em massa) de material pozolânico sobre o total de cimento. Atualizada em 1991.
- ♦ NBR-11578/ABNT: Cimento Portland Composto - Para o Cimento Portland Composto (CP II-Z), a norma permite a adição de 06 a 14% (em massa) de material pozolânico sobre o total de cimento. Normalizada em 1988 e atualizada em 1991.
- ♦ NBR-5736/ABNT: Cimento Portland Pozolânico - Para o Cimento Portland Pozolânico (CP IV), a norma permite a adição de 15 a 50% (em massa) de material pozolânico sobre o total de cimento. Normalizada em 1969 e atualizada em 1991.

Sobre o assunto, Malhota & Hemmings (1995) comentam que os Estados Unidos segue a especificação ASTM C595: *Standard specifications for blended hydraulic cements*, e o Canadá, a CSA CAN3-A362: *Blended hydraulic cements*.

No caso dos componentes pré-fabricados, procura-se apresentar um número razoável de procedimentos de ensaios normalizados, apresentados por Oliveira (1988), relativos à tijolos e blocos produzidos com matéria-prima convencional; uma vez que não existem normas técnicas brasileiras para componentes, elementos e artefatos pré-fabricados

versando sobre a substituição de matéria-prima convencional por resíduo sólido industrial.

Entretanto, enfatiza-se que os componentes básicos da alvenaria devem apresentar características mínimas de desempenho e conformidade que permitam o cumprimento de determinadas funções requeridas.

Normas que definem o tamanho das amostras para a execução dos ensaios:

NBR-7170: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria

NBR-7171: Bloco cerâmico para alvenaria

NBR-6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural

Normas que definem o ensaio para verificação das dimensões:

NBR-8041: Tijolos maciços cerâmicos para alvenaria - Forma e dimensões

NBR-7171: Bloco cerâmico para alvenaria

NBR-8043: Bloco cerâmico portante para alvenaria - Determinação da área líquida

NBR-6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural

NBR-7186 - Bloco vazado de concreto simples para alvenaria com função estrutural

Normas que definem o ensaio para verificação da resistência à compressão:

NBR-6460: Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão

NBR-6461: Bloco cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão

NBR-7186: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria com função estrutural

Norma que define o ensaio de absorção de água

NBR-7186: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria com função estrutural

Norma que define o ensaio de compressão axial

NBR-8215: Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural - Preparo e ensaio à compressão

Além dessas normas citadas por Oliveira (1988), também podem ser realizados ensaios de acordo com as seguintes normas técnicas:

- NBR-8042: Bloco cerâmico para alvenaria - Formas e dimensões;
- NBR-5712: Bloco vazado modular de concreto;
- NBR-12117: Blocos vazados de concreto para alvenaria - Retração por secagem – Método de ensaio;
- NBR-12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida – Método de ensaio;
- NBR-7184: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Determinação da resistência à compressão;
- NBR-7173: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural;
- NBR-8949: Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples.

3.5 PRINCIPAIS ESTUDOS SOBRE A FABRICAÇÃO DE COMPONENTES COM APROVEITAMENTO DE CINZAS

Há muito vem-se pesquisando sobre o aproveitamento da cinza na fabricação de componentes para a construção. A nível internacional, em 1978, Torrey relatou a busca pela expansão e por novos usos para a cinza volante, realizada pelo *Coal Research Bureau of West Virginia University*. Segundo Torrey (1978), durante as investigações, foram editadas várias patentes e desenvolvidos produtos de alta qualidade, demonstrando a possibilidade de uso da cinza em processos e produtos comercializáveis.

No Brasil, várias pesquisas tem sido realizadas. Tanto assim, que em 1980, Silva & Ceratti concluíram ser tecnicamente viável a utilização da cinza volante com a cal dolomítica na estabilização de areias para a produção de componentes para a construção civil.

Em 1990, Andrade & Ceratti avaliaram blocos de cinza volante e cal. Estes blocos mostraram-se adequados à utilização na construção civil em termos de resistência à compressão simples, mas deficientes quanto à absorção, sendo recomendados para uso em paredes internas.

Da mesma forma, a análise dos resultados encontrados na pesquisa de Boff *et al.* (1990) indica propriedades favoráveis dos tijolos de cinza e cal em relação a resistência à compressão simples, e propriedades desfavoráveis em relação à absorção.

A investigação de Fonseca (1995) concluiu ser possível e eficiente a viabilidade do uso de materiais silicosos (pozolanas do tipo cinza do carvão mineral e cinza de casca de arroz) no processo de estabilização dos solos, resultando como produto final deste processo, o tijolo de cinzas, confeccionado com teores de cimento entre 06 e 10%. Concluiu, ainda, que os tijolos de cinza apresentam comportamento mecânico superior quando comparados aos tijolos de solo-cimento confeccionados com o mesmo tipo de solo.

O trabalho de Chies *et al.* (1995) relata a avaliação de tijolos maciços compostos de cinza volante e pesada, areia e cal; moldados, curados no processo da câmara com temperatura constante e da cura por autoclavagem, em função da resistência à compressão simples e da absorção de água. Os autores concluíram que os tijolos enquadram-se dentro dos valores para tijolos cerâmicos recomendados pela NBR-6460.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA DE PESQUISA

Enquanto os dois capítulos anteriores focalizavam o referencial teórico pertinente ao trabalho, este capítulo contém a descrição das informações relacionadas à pesquisa, apresentando o delineamento teórico e os passos metodológicos, através dos quais busca-se alcançar os resultados esperados.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho configura-se pela sua natureza não experimental que, segundo Kerlinger (1980, p. 130), é a designação de “qualquer pesquisa na qual não é possível manipular variáveis ou designar sujeitos ou condições aleatoriamente”.

Nesse sentido, pode ser caracterizado como um estudo descritivo, pois nele pretende-se “descrever com exatidão os fatos e fenômenos de uma determinada realidade” (Triviños, 1987, p. 110).

Para Rudio (1983) a questão fundamental na pesquisa descritiva é que, nessa modalidade, o pesquisador procura conhecer e interpretar a realidade, sem nela interferir para modificá-la. Busca, então, descobrir e observar os fenômenos, procurando conhecer sua natureza, composição, processos que o constituem ou nele se realizam.

Os dados obtidos para análise e interpretação da pesquisa descritiva podem ser quantitativos, quando expressos mediante símbolos numéricos, ou qualitativos, quando utilizam-se de palavras para descrever o fenômeno.

Bogdan *apud* Triviños (1987) indica algumas características a serem tomadas como básicas para uma pesquisa qualitativa e consideradas como reais para o presente estudo, quais sejam:

- ◆ A pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como fonte direta de dados e o pesquisador como instrumento-chave;
- ◆ A pesquisa qualitativa é descritiva;
- ◆ Os pesquisadores qualitativos estão preocupados com o processo e não simplesmente com os resultados e o produto;
- ◆ O significado é a preocupação essencial da abordagem qualitativa.

A opção pela análise qualitativa deve-se a busca por respostas para questões muito particulares e a preocupação com um nível de realidade que não pode ser quantificado, conforme esclarece Minayo (1994).

A partir do embasamento das características citadas para o trabalho e das especificidades do campo de pesquisa, destacadas quando da explicitação desta fase, salienta-se a opção pela utilização de um estudo de caso para proceder a descrição.

O estudo de caso é definido por Bruyne *et al.* (1982) como uma análise intensiva, empreendida em organizações reais com o objetivo de apreender a totalidade de uma situação.

Para Yin (1984) o estudo de caso é uma pesquisa empírica que engloba três características:

- [i]** Investigação de um fenômeno contemporâneo dentro do contexto de mundo real;
- [ii]** Pouca clareza e evidência nas fronteiras entre o fenômeno e o contexto;
- [iii]** Possibilidade de uso de múltiplas fontes de evidência.

Esse autor destaca quatro aplicações que podem ser evidenciadas para pesquisas através de estudos de caso, quais sejam:

- ◆ Explicar a ligação causal em intervenções no mundo real, que se apresentam como mais complexas que as estratégias de pesquisa experimentais ou de levantamentos;
- ◆ Descrever o contexto do mundo real no qual a intervenção ocorre;
- ◆ Propiciar a avaliação do caso analisado, possibilitando uma intervenção posterior;
- ◆ Explorar algumas situações nas quais a intervenção a ser avaliada não se apresenta claramente definida.

Nesse sentido, Godoy (1995) argumenta que, adotando um enfoque exploratório e descritivo, o pesquisador que pretende desenvolver um estudo de caso deve estar aberto às suas descobertas.

Triviños (1987) esclarece que, no estudo de caso, os resultados são válidos somente para o caso em questão, não podendo generalizar-se o estudo. Desta forma, o grande valor do estudo de caso está em fornecer o conhecimento aprofundado de uma realidade delimitada que os resultados atingidos podem permitir, e formular hipóteses para o encaminhamento de outras pesquisas.

4.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A Figura 5 ilustra as etapas de trabalho adotadas. Compreendem, basicamente, o estudo teórico do assunto, a coleta de dados e a descrição do caso em estudo.



Figura 5 – Etapas de desenvolvimento do trabalho

4.3 COLETA DE DADOS

Conforme será explicitado a seguir, o levantamento de dados foi realizado em campos de pesquisa distintos e previamente eleitos por terem sido considerados agentes intervenientes no processo de aplicação tecnológica da cinza, quais sejam: Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, empresas cimenteiras, Grupo de Pesquisa em Resíduos do NPC (Núcleo de Pesquisa em Construção) da Universidade Federal de Santa Catarina, empresas de elementos pré fabricados e Fundação do Meio Ambiente.

Para a consecução desse passo, utilizaram-se técnicas de pesquisa referentes à análise documental, à entrevista semi-estruturada e ao questionário fechado.

Os dados coletados podem ser classificados como sendo de natureza primária e de natureza secundária. Os primeiros referem-se aos dados coletados, através de entrevistas e/ou questionários. Já os dados secundários estão relacionados com as informações coletadas em publicações disponíveis, oficiais ou não, caracterizando o instrumento de análise documental.

A análise documental é um tipo de estudo descritivo que fornece a possibilidade de reunir grande quantidade de informações. Foi realizada através de consulta a decretos, leis, resoluções, arquivos, relatórios e publicações de fonte privada ou oficial, direta ou indiretamente relacionados ao assunto analisado, com o objetivo de complementar informações julgadas pertinentes ao tema deste trabalho e/ou confirmar os dados coletados.

A entrevista é caracterizada pelo contato direto entre o pesquisador e os seus interlocutores onde, através de um conjunto de questões enunciadas de forma planejada, se alcançam determinadas informações. Dependendo das questões apresentarem formas abertas ou fechadas, as entrevistas podem ser encaminhadas com uma maior ou menor diretividade na busca das informações (Rudio, 1983).

A entrevista semi-estruturada, presente neste trabalho, partiu de um roteiro temático com questionamentos básicos, possibilitando ao informante seguir espontaneamente a linha do seu pensamento e das suas experiências.

Triviños (1987) explica que esta técnica mantém a presença do pesquisador e, ao mesmo tempo, permite a relevância na situação de entrevistado. Favorece, então, não só a descrição dos fenômenos estudados, mas também a explicação e a compreensão de sua totalidade.

Questionários construídos com perguntas fechadas - técnica também usada neste trabalho, possibilitam a caracterização de um grupo pelo conhecimento dos seus traços gerais (Rudio, 1983).

4.4 PROCEDIMENTOS USADOS NA COLETA DE DADOS

O procedimento adotado, bem como as técnicas necessárias para o levantamento dos dados, foram escolhidos de acordo com o campo de pesquisa.

4.4.1 Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

O levantamento dos dados sobre produção, oferta, comercialização e transporte da cinza proveniente da queima do carvão mineral gerada no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda foi realizado por meio de entrevistas semi-estruturadas e de análise documental.

Tais ações foram realizadas na sede administrativa da GERASUL (Centrais Geradoras do Sul do Brasil S. A.), situada em Florianópolis, estado de Santa Catarina; no Departamento de Meio Ambiente e Patrimônio (DMP), Departamento de Patrimônio e Suprimentos (DPS) e na Assessoria de Gestão e Comercialização (AGC) da Diretoria de Operação (DO).

Com o objetivo de complementar e verificar as informações recebidas durante as entrevistas, efetivou-se uma visita ao Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, situado no município catarinense de Capivari de Baixo.

A visita permitiu a realização de entrevistas livres com os funcionários envolvidos diretamente no processo de extração e manuseio da cinza do carvão mineral, assim como a verificação das condições de estocagem e carregamento desta cinza.

4.4.2 Empresas cimenteiras

As informações coletadas a respeito da comercialização da cinza do carvão mineral apontaram a cadeia produtiva do cimento² como única cliente do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Um levantamento junto a secretaria executiva do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) permitiu delinear a realidade da indústria cimenteira e os aspectos concernentes a produção, despacho, importação e exportação do Cimento Portland brasileiro segundo os tipos existentes no mercado nacional.

² A cadeia produtiva do cimento foi identificada no trabalho de Souza & Silva (1993). É composta pelos seguintes setores: cimento; cimento amianto; concreto pré-misturado; argamassa industrializada; elementos e componentes pré-fabricados e; artefatos de cimento.

Tal objetivo foi alcançado através da análise realizada nos Anuários de 1995, 1996 e 1998 do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, enviados em resposta ao contato realizado.

Buscou-se, então, inicialmente no SNIC e posteriormente na listagem das empresas brasileiras produtoras de CP IV (Cimento Portland Pozolânico) apresentada por Zwonok *et al.* (1996), informações a respeito do tipo, quantidade e procedência da pozolana usada por estas empresas. Tais respostas não foram disponibilizadas à pesquisa, por tratarem-se de dados mercadológicos.

Entretanto, a realização de entrevistas semi-estruturadas com três das empresas compradoras da cinza produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (Comércio de cinza Lima Ltda., Companhia de Cimento Portland Rio Branco e Companhia de cimento Itambé) permitiu o relato sobre as empresas cimenteiras brasileiras responsáveis pela produção de Cimento Portland com adição de cinza proveniente de usina termelétrica.

4.4.3 Grupo de pesquisa em resíduos do Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC/UFSC)

Tendo em vista o objetivo de indicar ações que propiciem maior aplicação tecnológica da cinza proveniente da queima do carvão mineral e a conseqüente redução do impacto ambiental, este trabalho apresenta, embora que de modo sucinto, um estudo experimental realizado pelo grupo de pesquisa em resíduos do NPC/UFSC com a cinza pesada produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Trata-se da fabricação, que vem sendo realizada em escala piloto no processo produtivo de determinada empresa do setor, de blocos de concreto (com fins estruturais e de vedação) e de peças de concreto para pavimentação, com substituição parcial de matéria-prima convencional por cinza pesada (úmida) seca em estufa.

Os resultados satisfatórios obtidos pelo grupo em relação a viabilidade técnica desta cinza, bem como os valores obtidos nos ensaios prescritos nas Normas Técnicas (NBR-9780: Peças de concreto para pavimentação - Determinação da resistência à compressão; NBR-9781: Peças de concreto para pavimentação; NBR-6136: Blocos

vazados de concreto simples para alvenaria estrutural; NBR-7186: Bloco vazado de concreto para alvenaria - Determinação da área líquida) nortearam a identificação do custo unitário.

Os cálculos foram realizados de acordo com os traços do estudo experimental descrito. Foram substituídos os quantitativos da matéria-prima convencional por cinza pesada e seus respectivos custos na planilha de rateio usada pela empresa, obtendo-se o custo unitário dos componentes pré-fabricados pesquisados.

4.4.4 Empresas de componentes pré-fabricados

Inicialmente foram realizadas pesquisas junto a fontes que indicassem o nome e a localização das empresas de componentes pré-fabricados situadas na grande Florianópolis. Em tal sentido, foi consultado o Serviço de apoio a micro e pequenas empresas (SEBRAE/SC), que forneceu uma listagem com 15 (quinze) empresas.

Pelo contato inicial averiguou-se que 07 (sete) das empresas listadas encontravam-se fora do mercado, haviam mudado de endereço ou ramo comercial, ou ainda, não estavam dispostas a fornecer todas as informações buscadas.

O levantamento dos dados efetivou-se através de entrevistas com duração de 30 a 60 minutos. Tempo este, suficiente para a obtenção das respostas fornecidas aos questionamentos básicos da entrevista semi-estruturada e do questionário fechado.

Foram ouvidos 06 (seis) gerentes de produção de empresas constadas na amostra. Como gerente de produção, considerou-se aquele profissional responsável pela escolha da matéria-prima, pelo traço usado e pelo funcionamento do processo produtivo. Em pequenas e micro-empresas, o gerente de produção pode, também, ser o proprietário e/ou acumular funções de direção.

A partir da análise das entrevistas e dos questionários fechados tornou-se possível desenvolver os seguintes aspectos:

⇒ **Características da empresa:** Tempo de atuação, número de funcionários, existência de loja de materiais de construção para escoamento dos produtos,

existência de posto de vendas, existência de construtora para aplicação dos componentes produzidos;

⇒ ***Características da produção:*** Produtos fabricados, volume diário de produção, custos unitários;

⇒ ***Matérias-primas:*** Especificações e fornecedores;

⇒ ***Processo produtivo:*** Descrição do processo em relação a dosagem dos materiais, processo de mistura da matéria-prima e processo de cura dos componentes pré-fabricados;

⇒ ***Aplicação tecnológica:*** Conhecimentos do entrevistado sobre aplicações tecnológicas da cinza do carvão mineral; posicionamento do entrevistado e da empresa perante o uso de resíduos em geral, cinzas em particular e, em especial, cinza pesada; como parte da matéria-prima a ser empregada na confecção dos componentes pré-fabricados.

4.4.5 Fundação do Meio Ambiente

A Fundação do Meio Ambiente (FATMA) é a entidade estadual representante de Santa Catarina na estrutura administrativa da Política Nacional de Meio Ambiente.

A estrutura administrativa está constituída pelo Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), que tem como órgão superior o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e como órgão central, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Cabe ao IBAMA congregar todos os órgãos e entidades federais (órgãos setoriais), estaduais (órgãos seccionais) e municipais (órgãos locais) envolvidos com o gerenciamento das ações de uso dos recursos naturais e proteção da qualidade ambiental.

Nesse sentido, por indicação de representantes do IBAMA, através da FATMA em Florianópolis, as entrevistas semi-estruturadas foram realizadas com o técnico em

controle ambiental da Fundação do Meio Ambiente em Tubarão, cidade vizinha ao Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Junto ao informante e responsável pela fiscalização das atividades ambientais do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, buscou-se conhecer os enquadramentos na legislação, as exigências e a fiscalização a que estão submetidas a empresa geradora da cinza proveniente da queima do carvão mineral, as empresas transportadoras e usuárias desta cinza.

Optou-se pelo uso do gravador, o que possibilitou a transcrição das entrevistas realizadas.

4.5 ANÁLISE DOS DADOS E FORMULAÇÃO DE DIRETRIZES

Os dados coletados nesta etapa do trabalho foram compilados de maneira qualitativa, seguindo o delineamento proposto neste capítulo. Desta compilação resultou a descrição do cenário de referência, apresentado com o maior detalhamento possível e dentro das delimitações definidas para este estudo, em relação à cinza produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, considerando seu uso na construção civil.

A elaboração das diretrizes baseou-se na análise deste cenário, obtido ao longo do estudo, bem como dos conceitos e recomendações levantados na revisão bibliográfica.

CAPÍTULO 5

DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DO ESTUDO DE CASO

Nos capítulos iniciais foi discutida a utilização de resíduos e subprodutos na construção civil. Neste capítulo estão apresentados os resultados que compõe o estudos de caso. Dados e informações foram pesquisados junto aos intervenientes, com o intuito de descrever o cenário que envolve a cinza produzida durante a queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

5.1 GERASUL - A EMPRESA GERADORA DE ENERGIA

A GERASUL (Centrais Geradoras do Sul do Brasil S. A.), sediada em Florianópolis/SC, originou-se da cisão da ELETROSUL (Centrais Elétricas do Sul do Brasil S. A.), empresa subsidiária da ELETROBRÁS, criada em 23 de dezembro de 1968 para gerar, transmitir e comercializar energia elétrica.

Em decorrência do programa nacional de desestatização e da reestruturação pela qual vem passando o setor elétrico brasileiro, a ELETROSUL foi desverticalizada, sendo cindida em 23 de dezembro de 1997.

As atividades de transmissão de energia continuaram com a ELETROSUL e as atividades de geração e comercialização foram desmembradas e repassadas a uma nova empresa, denominada GERASUL.

A GERASUL passou à iniciativa privada em 15 de setembro de 1998. Cerca de 50,01% do controle acionário pertencente ao Governo Federal foi adquirido em leilão pelo Grupo de origem belga TRACTEBEL.

O grupo TRACTEBEL, que detém o controle acionário da GERASUL, possui a concessão da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) para produzir e comercializar a energia elétrica por um período de trinta anos, podendo renovar seu contrato.

Atualmente, a GERASUL supre com energia elétrica os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul, área que concentra cerca de 25 milhões de habitantes; e a Região Sudeste, através do Sistema Interligado Sul/Sudeste/Centro-Oeste.

Seu parque gerador possui capacidade instalada total de 3.694MW, sendo 2.724MW em usinas hidráulicas e 970MW em usinas térmicas.

A empresa possui duas usinas hidráulicas no oeste do Paraná: Salto Osório, com 1.078MW de capacidade instalada em Quedas do Iguaçu; e Salto Santiago, com 1.420MW, em Saudade do Iguaçu. Uma terceira hidrelétrica, Passo Fundo, de 226MW, situa-se na cidade de Entre Rios do Sul no Rio Grande do Sul.

O parque térmico é formado por duas usinas no Rio Grande do Sul: Alegrete (movida a óleo combustível) e Charqueadas com 66 e 72MW de capacidade instalada, respectivamente. Na cidade de Capivari de Baixo, estado de Santa Catarina, situa-se o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, formado por três usinas que totalizam 832MW de capacidade instalada.

A produção total da GERASUL em dezembro de 1997 alcançou 1.534.000MWh, dos quais 1.191.000MWh foram hidráulicos e 343.000MWh térmicos. Esta produção, segundo a GERASUL, obteve um crescimento médio de 6,8% nos últimos cinco anos, período em que o crescimento médio nacional foi de 4,8%.

Visando aferir continuamente a qualidade ambiental na região de influência de suas usinas termelétricas, a GERASUL informa que vem operando redes de monitoramento da qualidade do ar e das águas dos rios e da chuva, desde 1987, através do *Estudo sobre*

avaliação ambiental das regiões de influência das usinas termelétricas a carvão no Brasil realizado em convênio com a *Japan International Cooperation Agency* (JICA).

Segundo informações da empresa, todas as instalações da GERASUL operam com licenciamento ambiental. Todas as usinas termelétricas estão devidamente regularizadas junto aos órgãos públicos federais e estaduais do meio ambiente.

Três diretrizes de gestão ambiental orientam suas ações: *[i]* Desenvolvimento da consciência ambiental no corpo funcional; *[ii]* Melhoria da qualidade ambiental na área de influência dos empreendimentos e; *[iii]* Implementação do sistema de gestão ambiental de acordo com a norma NBR ISO 14001.

5.2 JORGE LACERDA – O COMPLEXO TERMELÉTRICO

De propriedade da GERASUL, o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda é, atualmente, o maior potencial termelétrico a carvão em funcionamento da América Latina. Encontra-se situado no município catarinense de Capivari de Baixo.

É composto por três usinas termelétricas distintas: Jorge Lacerda A com 232MW de potência em quatro geradores; Jorge Lacerda B com 250MW de potência em dois geradores; e Jorge Lacerda C (Figura 6) com uma unidade geradora de 350MW de potência.

A usina termelétrica Jorge Lacerda A possui dois geradores de 50MW e dois geradores de 66MW cada. Os dois primeiros geradores entraram em funcionamento no ano de 1966 e os demais, em 1975.

Jorge Lacerda B tem um gerador de 125MW que funciona desde 1979 e outro, igualmente de 125MW, funcionando desde 1980. Jorge Lacerda C possui um gerador de 350MW funcionando desde 1997.



Figura 6 – Usina termelétrica Jorge Lacerda C

5.2.1 Extração e manuseio da cinza proveniente da queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

Os sistemas de extração e manuseio da cinza produzida em Jorge Lacerda são designados por secos ou úmidos, embora, mesmo no processo seco haja consumo de água.

Todas as três usinas utilizam precipitadores eletrostáticos com 98,0% de eficiência mínima de projeto para a captação da cinza seca (leve), que é transportada pneumaticamente para os silos de armazenagem (Tabela 2).

Tabela 2 – Capacidade dos silos armazenadores do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| CAPACIDADE DOS SILOS ARMAZENADORES DE CINZA LEVE | | |
|--|----------------|-----------|
| USINA TERMELÉTRICA | m ³ | TONELADAS |
| Jorge Lacerda A | 850 | 680 |
| Jorge Lacerda B | 800 | 640 |
| Jorge Lacerda C | 1.400 | 1.200 |

A cinza leve é depositada no silo até o momento de sua retirada pelos caminhões especiais, chamados *cebolões* (Figura 7), responsáveis pelo transporte desta cinza da usina termelétrica ao seu comprador.



Figura 7 – Carregamento de cinza leve da usina Jorge Lacerda A

A parcela da cinza que cai no fundo das fornalhas, nas usinas do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, é misturada em um jato de água, transportada via úmida e conduzida à bacia de sedimentação.

O transporte hidráulico da cinza pesada da usina termelétrica à bacia de sedimentação requer a trituração desta cinza (Figura 8) em partículas inferiores a 10mm.

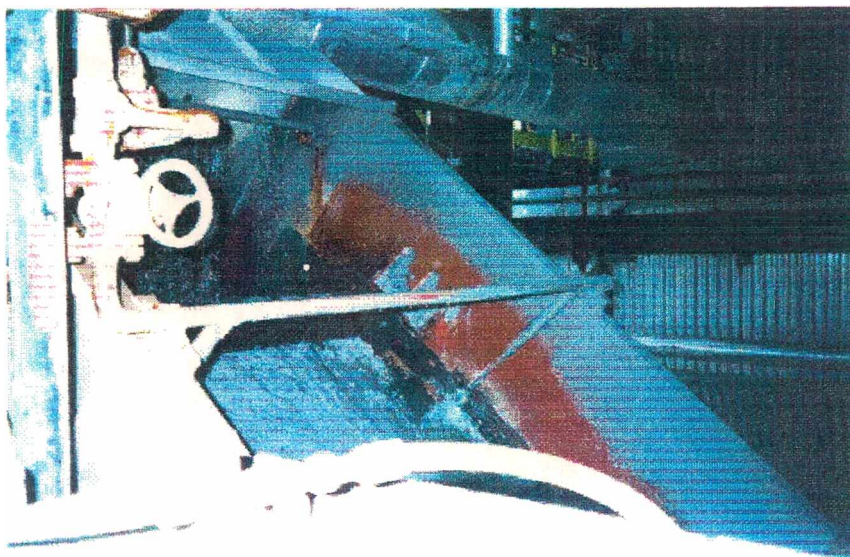


Figura 8 – Trituração da cinza pesada e adição de água

Para a cinza leve excedente, ou seja, sem comércio, o destino também é a bacia de sedimentação. Ao ser removida do silo para a bacia, a cinza leve é umedecida até um teor de 10 a 20% de umidade (em peso) a fim de facilitar o manuseio e evitar a presença do pó.

A cinza, quando em suspensão no efluente, sedimenta em velocidade bastante baixa. Isto acarreta a necessidade de grandes bacias retangulares para a decantação da fração mais fina e a obtenção de um efluente clarificado.

Após a separação líquido-sólido, o sobrenadante (líquido clarificado) das bacias de sedimentação de cinza, das usinas A e B do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, é conduzido ao rio Tubarão.

O sistema da usina termelétrica Jorge Lacerda C opera em circuito fechado e possui torres de resfriamento, evitando o lançamento de efluentes e os efeitos térmicos no rio Tubarão.

Isso significa que a água condutora da cinza úmida (pesada) às bacias de sedimentação nº 4 e nº 5 é estabilizada com cal e retorna ao processo de geração de energia térmica em Jorge Lacerda C.

Das bacias de sedimentação (Figura 9 e Figura 10), atualmente em número de cinco, a cinza tem sido retirada e destinada à recuperação ambiental do banhado da Estiva, situado próximo as usinas termelétricas do Complexo Jorge Lacerda.

Isso acontece devido ao acordo realizado entre a Fundação do Meio Ambiente (FATMA) e a GERASUL, que prevê como destino final da cinza que não é comercializada, a recuperação ambiental de áreas degradadas pelas atividades de mineração do carvão.



Figura 9 - Bacia de sedimentação (nº 2) das usinas Jorge Lacerda A e B

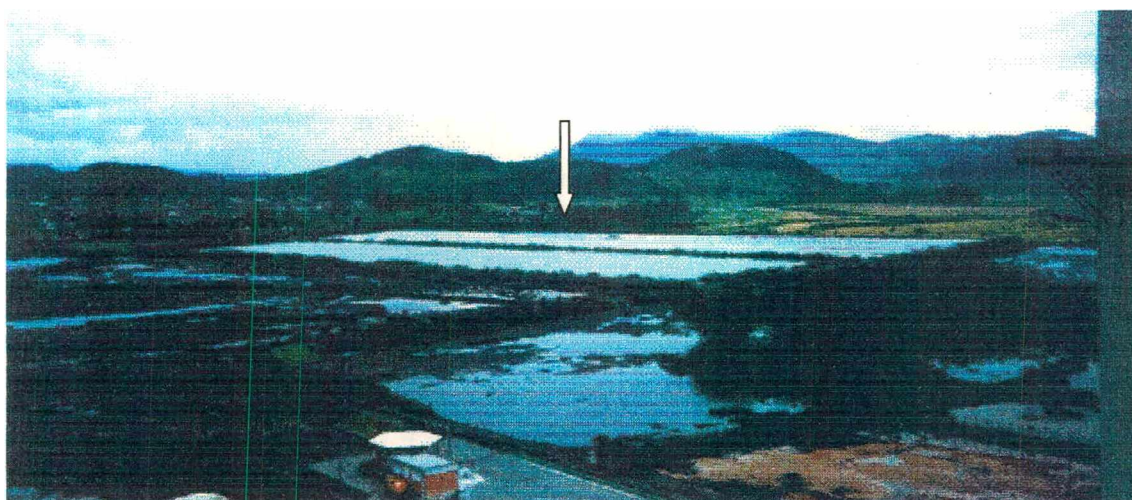


Figura 10 – Bacias de sedimentação (nº 4 e 5) da usina Jorge Lacerda C

O contrato, em vigência atualmente, assinado pela ELETROSUL e pela Sulterra Construtora Ltda. – empresa responsável pela movimentação da cinza nas bacias - fixa o valor de R\$ 1,89 para cada m³ retirado da bacia de sedimentação e transportado ao banhado da Estiva.

5.2.2 Quantificação da cinza proveniente da queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

De maneira geral, para cada 100 toneladas de carvão mineral consumidas no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, são geradas 42 toneladas de cinza, das quais 70% é extraída seca e 30% úmida. A Figura 11 ilustra este fato.

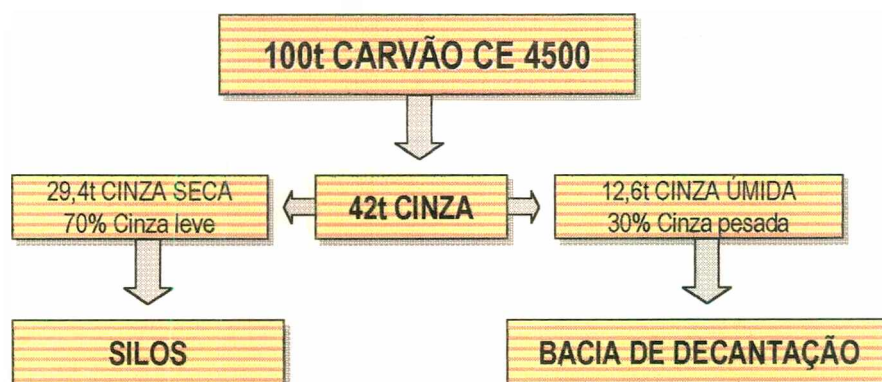


Figura 11 – Fluxo da cinza do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

Particularmente, na unidade Jorge Lacerda A, toda cinza do carvão mineral produzida pelos dois geradores de 50MW é umidificada e conduzida à bacia de sedimentação (Figura 12).

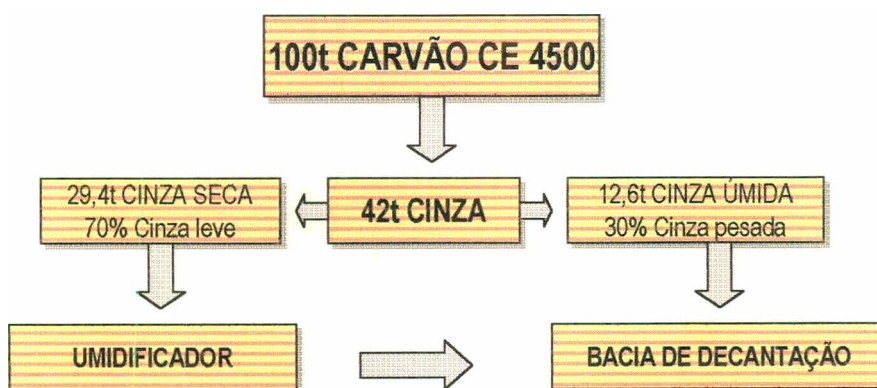


Figura 12 – Fluxo da cinza do carvão mineral em Jorge Lacerda A (2 x 50MW)

Ao longo do ano de 1998, no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda foram consumidas em torno de dois milhões de toneladas de carvão mineral CE 4500, o que representou uma produção aproximada de oitocentas mil toneladas de cinza.

A Tabela 3 aponta o consumo de carvão mineral CE 4500, a produção discriminada e total de cinza e a quantidade de cinza seca (leve) comercializada nos últimos três anos, no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Tabela 3 – Consumo de carvão mineral, produção e comercialização da cinza do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| ANO | CARVÃO MINERAL CONSUMIDO (tonelada) | CINZA PRODUZIDA (toneladas) | | | CINZA SECA COMERCIALIZADA (toneladas) |
|------|---|-----------------------------|------------|------------|---|
| | | SECA | ÚMIDA | TOTAL | |
| 1996 | 1.620.504,25 | 476.428,24 | 204.183,54 | 680.611,79 | 197.936,31 |
| 1997 | 2.091.158,65 | 614.800,64 | 263.485,99 | 878.286,63 | 272.889,78 |
| 1998 | 1.948.533,72 | 572.868,91 | 245.515,25 | 818.384,16 | 247.523,44 |

Os valores da Tabela 3 indicam que 29% da cinza produzida em Jorge Lacerda no ano de 1996 foi comercializada. Em 1997, o valor foi 31% e, no ano seguinte, 30%.

Segundo informações do Departamento de Patrimônio e Suprimentos (DPS) da GERASUL, setor responsável pela comercialização, a cinza vendida foi, em sua totalidade, destinada à construção civil.

No que se refere ao assunto, o trabalho realizado por Gothe, em 1990 (p. 03), relata que, naquela época a ELETROSUL comercializava “cerca de 50% da cinza gerada no Complexo Jorge Lacerda e 20% daquela gerada na usina de Charqueadas”.

Kihara & Scandiuzzi, em 1992, estimaram que a produção de cinza proveniente da queima do carvão mineral estivesse próxima a um milhão de toneladas por ano, da qual aproximadamente 65% eram comercializadas, principalmente como pozolanas.

Por sua vez, Zwonok et al. (1996, p. 45) comentam que “cerca de 34% das cinzas produzidas nas termelétricas brasileiras foram comercializadas no ano de 1995”.

Os dados apresentados por estes autores mostram que, em 1995, a ELETROSUL vendeu 34,8% da cinza do carvão mineral do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

A diminuição percentual da comercialização da cinza produzida no Complexo Jorge Lacerda pode ser justificada por dois motivos. Por um lado, a partir de 1997, a usina termelétrica Jorge Lacerda C entrou em funcionamento, aumentando a produção mensal de cinza proveniente da queima do carvão mineral em torno de 19.000 toneladas (Tabela 4). Por outro lado, a indústria nacional do cimento portland, cujos dados serão discutidos na seção 5.3, tem diminuído sua produção anual de CP IV (Cimento Portland Pozolânico).

A Tabela 4 discrimina a produção média mensal de cinza proveniente da queima do carvão mineral correspondente a cada usina do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. Os valores correspondem aos dados operacionais de cada unidade e estão sujeitos a alterações em virtude das manutenções preventivas realizadas nas usinas.

Tabela 4 – Produção média mensal da cinza proveniente da queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| USINA TERMELÉTRICA | PRODUÇÃO MÉDIA DE CINZAS (t/mês) |
|---------------------------|---|
| Jorge Lacerda A | 15.000 |
| Jorge Lacerda B | 22.000 |
| Jorge Lacerda C | 19.000 |

Na Tabela 5 estão descritos o consumo de carvão mineral CE 4500, a produção mensal de cinza seca, úmida e total, bem como a quantidade comercializada mensalmente pela GERASUL, ao longo de 1998.

A partir dos dados operacionais descritos na Tabela 5, percebe-se que a cinza úmida (pesada) não obteve comercialização no último ano.

Tabela 5 – Consumo de carvão mineral, produção e comercialização mensal da cinza do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| MÊS | CARVÃO MINERAL CONSUMIDO (toneladas) | CINZA PRODUZIDA (toneladas) | | | CINZA COMERCIALIZADA (toneladas) | |
|-----------|--------------------------------------|-----------------------------|------------|------------|----------------------------------|-------|
| | | SECA | ÚMIDA | TOTAL | SECA | ÚMIDA |
| Janeiro | 179.731,01 | 52.840,92 | 22.646,11 | 75.487,02 | 22.245,42 | 0,00 |
| Fevereiro | 149.286,45 | 43.890,22 | 18.810,09 | 62.700,31 | 19.685,43 | 0,00 |
| Março | 158.677,49 | 46.651,18 | 19.993,36 | 66.644,55 | 21.866,48 | 0,00 |
| Abril | 185.104,76 | 54.420,80 | 23.323,20 | 77.744,00 | 20.143,90 | 0,00 |
| Maiο | 157.267,35 | 46.236,60 | 19.815,69 | 66.052,29 | 20.795,83 | 0,00 |
| Junho | 141.655,26 | 41.646,65 | 17.848,56 | 59.495,21 | 20.306,92 | 0,00 |
| Julho | 149.551,67 | 43.968,19 | 18.843,51 | 62.811,70 | 19.634,85 | 0,00 |
| Agosto | 163.850,44 | 48.172,02 | 20.645,16 | 68.817,18 | 20.559,93 | 0,00 |
| Setembro | 168.079,61 | 49.415,41 | 21.178,03 | 70.593,44 | 20.061,10 | 0,00 |
| Outubro | 153.716,72 | 45.192,71 | 19.368,31 | 64.561,02 | 22.245,42 | 0,00 |
| Novembro | 143.392,89 | 42.157,51 | 18.067,50 | 60.225,01 | 20.018,39 | 0,00 |
| Dezembro | 198.220,07 | 58.276,70 | 24.975,73 | 83.252,43 | 19.959,77 | 0,00 |
| Total | 1.948.533,72 | 572.868,91 | 245.515,25 | 818.384,16 | 247.523,44 | 0,00 |

Segundo relatórios da GERASUL, a falta de mercado para a cinza úmida vem ocorrendo continuamente há cerca de três anos.

Nesse sentido, um dos compradores de cinza da GERASUL e beneficiador de cinza leve para concreteiras, declara: “A concorrência entre a cinza leve e pesada é muito desparelha. Enquanto tiver cinza leve para vender ninguém vai comprar cinza pesada”.

Afirma, ainda, que em determinada época, onde a procura foi maior que a oferta de cinza seca, o Grupo Votorantim utilizou um secador de cinza úmida, localizado na cidade de Itajaí, atualmente, desativado.

Em relação a comercialização da cinza do carvão mineral, o declarante argumenta: “Embora a cinza seca seja bem mais cara, ela é usada diretamente, enquanto que a cinza úmida precisa de transporte diferenciado e de secagem. ...A cinza úmida possui muita matéria orgânica agregada na bacia de sedimentação”.

O declarante explica que o transporte da cinza úmida é realizado por meio de caminhões com carrocerias enlonadas. Conclui, opinando que “a cinza da usina B é a melhor”.

Tais relatos revelam dois aspectos importantes sobre o aproveitamento da cinza do carvão mineral em produtos de construção. O primeiro, externo ao Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, refere-se ao fato da cinza úmida já ter sido utilizada pela indústria cimenteira, na falta da cinza seca. O segundo aspecto está relacionado a necessidade de procedimentos adequados para depósito da cinza úmida na bacia de sedimentação, que favoreçam um emprego direto da cinza pesada sem necessidade de secagem preliminar.

A Tabela 6 apresenta, além do consumo de carvão mineral e da produção total de cinza, o valor mensal da retirada de cinza úmida da bacia de sedimentação, que adicionado ao valor da cinza comercializada, resulta no valor mensal total da cinza retirada do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, em 1998.

Ressalta-se que a cinza seca não comercializada precisa ser retirada dos silos armazenadores por limitação de volume (capacidade total dos silos = 56.000t), sendo umidificada e destinada às bacias de sedimentação. Destas bacias, a cinza úmida (pesada e volante umidificada) é removida por caminhões contratados e remunerados para realizarem o serviço.

O não aproveitamento da cinza pesada faz com que as bacias de sedimentação operem como depósitos de estocagem, exigindo custos adicionais na operação das usinas, para limpeza e manutenção das bacias, quando a capacidade de estocagem é ultrapassada.

Considera-se importante a discussão sobre a busca de aplicações tecnológicas, e sobre os preços praticados na comercialização da cinza, uma vez que toda a cinza não retirada por venda acarreta o ônus do depósito final para a empresa geradora de energia.

Além disso, o uso de cinza como matéria-prima em determinado processo produtivo reduz o impacto causado ao meio ambiente e soluciona o problema da GERASUL, quanto a capacidade de estocagem do resíduo sólido em suas instalações.

Tabela 6 – Consumo de carvão mineral, produção, comercialização e retirada mensal da cinza do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| MÊS | CARVÃO MINERAL CONSUMIDO (toneladas) | TOTAL CINZA PRODUZIDA (toneladas) | CINZA SECA VENDIDA (toneladas) | CINZA ÚMIDA RETIRADA DA BACIA (toneladas) | TOTAL CINZA RETIRADA DO CTJL (toneladas) |
|------------|---|--|---------------------------------------|--|---|
| Janeiro | 179.731,01 | 75.487,02 | 22.245,42 | 215.005,50 | 237.250,92 |
| Fevereiro | 149.286,45 | 62.700,31 | 19.685,43 | 189.634,90 | 209.320,33 |
| Março | 158.677,49 | 66.644,55 | 21.866,48 | 158.902,25 | 180.768,73 |
| Abril | 185.104,76 | 77.744,00 | 20.143,90 | 141.798,55 | 161.942,45 |
| Maiο | 157.267,35 | 66.052,29 | 20.795,83 | 86.793,92 | 107.589,75 |
| Junho | 141.655,26 | 59.495,21 | 20.306,92 | 84.404,68 | 104.711,60 |
| Julho | 149.551,67 | 62.811,70 | 19.634,85 | 95.982,82 | 115.617,67 |
| Agosto | 163.850,44 | 68.817,18 | 20.559,93 | 90.647,65 | 111.207,58 |
| Setembro | 168.079,61 | 70.593,44 | 20.061,10 | 58.398,10 | 78.459,20 |
| Outubro | 153.716,72 | 64.561,02 | 22.245,42 | 94.402,06 | 116.647,48 |
| Novembro | 143.392,89 | 60.225,01 | 20.018,39 | 90.620,60 | 110.638,99 |
| Dezembro | 198.220,07 | 83.252,43 | 19.959,77 | 72.340,72 | 92.300,49 |
| Total | 1.948.533,72 | 818.384,16 | 247.523,44 | 1.378.931,75 | 1.626.455,19 |

Cabe informar, no entanto, que o preço de venda da cinza proveniente da queima do carvão mineral, assim como o processo de comercialização desta cinza, foram regidos por órgãos e legislação externos a GERASUL até a data de sua privatização.

Isso decorre do fato que a política de compra do carvão mineral CE 4500, consumido no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e nas demais usinas termelétricas brasileiras, e a metodologia a ser utilizada para fins de reajustamento do preço e das condições de

pagamento das aquisições deste carvão é de responsabilidade do Comitê Executivo do Grupo Coordenador para Operação Interligada (GCOI).

5.2.3 Grupo Coordenador para Operação Interligada

O GCOI (Grupo Coordenador para Operação Interligada) é o órgão colegiado que tem a responsabilidade legal, conferida pela Lei 5899 (05.07.1973) e Decreto 73102 (07.11.1973), de coordenar a operação dos dois grandes Sistemas Interligados brasileiros, denominados Sul/Sudeste/Centro-Oeste e Norte/Nordeste.

Essa coordenação busca assegurar o uso racional das instalações de geração e transmissão, visando atender plenamente os requisitos, sob condições de tensão e frequência adequados; mantendo a economicidade de suprimento de energia elétrica desse atendimento e promovendo o rateio equânime dos ônus e das vantagens decorrentes da operação interligada; maximizando o aproveitamento do potencial hidrelétrico com a conseqüente redução dos custos operacionais de geração térmica.

Para exercer tal coordenação, o colegiado está estruturado em um Conselho Deliberativo e um Comitê Executivo. No Conselho Deliberativo, que se reúne quando grandes decisões precisam ser tomadas e extrapolam a área de operação, têm assento os presidentes das empresas convenientes, coordenados pelo presidente da ELETROBRÁS.

O Comitê Executivo é coordenado pelo diretor de operação de sistemas da ELETROBRÁS e composto pelos diretores de operação das empresas-membro. A ele cabe a atuação executiva do GCOI, o estabelecimento de políticas, diretrizes e metas da operação; a elaboração de relatórios técnicos - através de seus subcomitês e comissões; bem como, a elaboração de instrumentos de análise, estatísticas pós-operativas e regras de comercialização de energia entre as empresas. Este comitê se reúne periodicamente ao longo de cada ano.

Os principais instrumentos utilizados pelo GCOI são:

- ◆ Os planos de operação elétrico e energético (até cinco anos à frente);
- ◆ Os planos anuais de combustíveis;
- ◆ Os programas mensais de operação;

- ♦ As normas e instruções de operação; e
- ♦ Os programas diários de operação.

Com esses instrumentos, o CNOS (Centro Nacional de Operação de Sistemas – Órgão da ELETROBRÁS vinculado funcionalmente à Secretaria Executiva do GCOI) coordena a operação dos Sistemas Interligados em tempo real, em conjunto com os centros de operação das empresas, visando atender as necessidades do mercado de energia elétrica, carga própria de energia e demanda máxima no horário de ponta.

Como consequência dos recentes processos de reestruturação pelos quais têm passado o setor elétrico brasileiro e das privatizações de suas empresas, o GCOI, que até 1994 tinha dezenove empresas-membro, todas estatais, passou a contar, em 1997, com vinte e três empresas, sendo dez de capital privado. Sobre este assunto, o coordenador do Comitê Executivo do GCOI declara:

A presença dessas empresas privadas tornou o exercício do equilíbrio entre a cooperação e a competição um desafio para a coordenação, que deve manter a isonomia de tratamento dos agentes e a otimização dos sistemas.

O colegiado que forma o GCOI conta, atualmente, com 28 empresas que atuam nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. São elas: ELETROBRÁS, ELETROSUL, GERASUL, CEEE, CGTEE, RGE, AES Sul, CELESC, COPEL, ENERSUL, FURNAS, CESP, ELEKTRO, EMAE, EBE, ELMA, CPFL, CEMIG, LIGHT, CERJ, ESCELSA, CELG, CDSA, CEB, CEMAT, CELTINS, CHESF e ELETRONORTE. Além de três empresas convidadas: CEPEL, ITAIPU Binacional e ELETRONUCLEAR; e do órgão regulador desse setor: ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

De acordo com a política estabelecida no âmbito do GCOI, as usinas termelétricas são despachadas para atender a problemas elétricos de confiabilidade e de estabilização de tensão, ou para minimizar riscos de déficit de energia elétrica em função de condições hidrológicas decorrentes de períodos de estiagem prolongada.

Os recursos financeiros para pagamento das quantidades de carvão mineral CE 4500 destinadas à operação do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e das demais usinas termelétricas brasileiras são originários da Conta de Consumo de Combustíveis.

5.2.4 Conta de Consumo de Combustíveis

A Lei 5899 (05.07.1973) determinou que os ônus e vantagens decorrentes do consumo de combustíveis fósseis, utilizados para a operação das usinas termelétricas dos Sistemas Interligados, fossem rateados entre todas as empresas concessionárias daqueles sistemas.

O Poder Executivo, através do Artigo 28 do Decreto 73102 regulamentou o referido rateio e as Portarias MME 360, de 17.03.1977, e 254, de 17.02.1982, estenderam a aplicabilidade da Lei 5899 e do respectivo Decreto 73102 às empresas participantes do CCON, ficando o rateio restrito à CHESF e à ELETRONORTE.

Com o advento da Lei 8631, de 04.03.1993, regulamentada pelo Decreto 774, de 18.03.1993, bem como o Decreto 791, de 31.03.1993, que deu nova redação a alguns artigos do Decreto 73102, o rateio dos referidos ônus e vantagens, segundo critérios determinados, foi estendido a todas concessionárias de energia elétrica do país, inclusive nos Sistemas Isolados.

Ficaram instituídas, dessa forma, as Contas de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC) dos Sistemas Interligados Sul/Sudeste/Centro-Oeste e Norte/Nordeste.

As CCC, cuja administração fica a cargo da ELETROBRÁS através do GCOI, representam uma reserva financeira para cobertura dos custos com combustíveis, funcionando como contas de compensação para amortecer os impactos decorrentes dos custos.

As CCC se utilizam do planejamento da operação, consubstanciado no plano de operação, para obter os insumos necessários ao planejamento da aquisição e consumo dos combustíveis que serão utilizados na produção de energia termelétrica nos Sistemas Interligados das regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, bem como na fixação dos montantes de armazenamento de combustível necessário, cujos custos são calculados com base nos preços previstos para os combustíveis fósseis.

Essas previsões são realizadas com periodicidade anual, contemplando etapas mensais; ocasião em que são rateadas as despesas entre as empresas que compõem os referidos sistemas, proporcionalmente a energia vendida no ano anterior ao da elaboração do planejamento.

Nos planos anuais de combustíveis são definidas as quotas anuais de rateio das três CCC: CCC-Sul/Sudeste/Centro-Oeste, CCC-Norte/Nordeste e CCC-Sistemas Isolados, respectivamente pelo GCOI, CCON e GTON, para posterior homologação pelo DNAEE e inclusão nos custos de serviço de cada concessionária quotista.

A Tabela 7 ilustra as quantidades de combustíveis adquiridas pela CCC ao longo dos anos de 1995, 1996 e 1997, para atendimento das necessidades do Sistema Interligado Sul/Sudeste/Centro-Oeste. Tais valores encontram-se nos relatórios anuais ELETROBRÁS/GCOI (1995; 1996 e 1997).

Tabela 7 – Combustíveis adquiridos pela CCC - Sul/Sudeste/Centro-Oeste

| TIPO | QUANTIDADE | | | UNIDADE |
|------------------|------------|-------|--------|--------------------|
| | 1995 | 1996 | 1997 | |
| Carvão Mineral | 3.800 | 3.502 | 4.127 | Mil ton. |
| Óleo Combustível | 199 | 829 | 552 | Mil ton. |
| Óleo Diesel | 3.600 | 4.539 | 7.110 | Mil litros |
| Gás Natural | - | 9.065 | 30.298 | Mil m ³ |

5.2.5 Comercialização da cinza proveniente da queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

A cinza produzida nas usinas termelétricas brasileiras constitui propriedade das empresas convenientes do GCOI, uma vez que cabe a CCC o ônus da aquisição do carvão mineral.

Dessa forma, a receita correspondente a venda de cinza, deduzidas as despesas incorridas pelas empresas no processo de comercialização, é repassada a CCC para o reembolso da compra dos combustíveis fósseis.

É competência da CEC (Comissão de Estudos de Combustíveis) do GCOI, o estabelecimento do preço da cinza proveniente da queima do carvão mineral a ser utilizado na comercialização efetuada pelas empresas que utilizam o carvão mineral para geração de energia elétrica.

A respeito desse preço, as empresas vendedoras acatam e cumprem as decisões tomadas no âmbito da CEC/GCOI. Neste sentido, o representante da GERASUL (enquanto ELETROSUL) junto a Comissão de Estudos de Combustíveis declara:

É natural que essas mesmas empresas vendedoras, enquanto diretamente interessadas no incremento das vendas (também por razões de natureza ambiental, como é o caso da ELETROSUL/GERASUL), informem, periodicamente, o resultado de suas operações e analisem o comportamento do mercado para, sempre que necessário, propor medidas para ampliar as vendas.

O declarante explica, ainda, que os preços são resultantes da intenção de comercializar o maior volume possível, sem aviltamento do preço e não se descuidando da meta de obtenção da receita mínima razoável.

Assim, os preços mínimos praticados em leilões que foram realizados ao longo do tempo refletiam, porque baseados no histórico recente, o interesse do mercado pelo produto. Já houve quem pagasse US\$ 300 por uma tonelada de cinza em Jorge Lacerda. É verdade que isto só visava prejudicar a concorrência. Naquela época, a disputa acabou por elevar bastante o preço mínimo, mantendo-o em patamar irreal por algum tempo.

Documentos da ELETROSUL/GERASUL transcrevem a comunicação entre a Comissão de Estudos de Combustíveis e as empresas-membro do GCOI, no que diz respeito ao preço da cinza proveniente da queima do carvão mineral: “A CEC/GCOI aprovou, reunião 29.06.94, os seguintes preços mínimos para a comercialização de cinzas a partir de julho/94”. (Quadro 12)

Quadro 12 – Preço mínimo para comercialização da cinza do carvão mineral

| Usina | Cinza seca (R\$/t) | Cinza úmida (R\$/t) |
|-------------------|--------------------|---------------------|
| Charqueadas | (*) 18,04 | 0,74 |
| Presidente Médici | 6,65 | 0,74 |
| São Jerônimo | 6,65 | 0,74 |
| Jorge Lacerda | (*) 18,04 | 0,74 |
| Figueira | 6,65 | 0,74 |

Preços líquidos sem incidência de ICMS

(*) Inclui ICMS de 17%

“Informamos os novos preços para a cinza seca aprovados pela CEC/GCOI, em reunião realizada em 30/01/1996, com vigência a partir de 1º de março próximo. A CEC/GCOI aprovou, ainda, a sistemática de oferta de 10% de desconto para as compras pagas à vista”. (Quadro 13)

Quadro 13 – Preço para a cinza seca

| Usinas | R\$/t (com impostos) |
|---------------|----------------------|
| Jorge Lacerda | 14,50 |
| Charqueadas | 7,00 |

As empresas vendedoras, por sua vez, informam os resultados e buscam a adequação mercadológica, conforme mostra o documento enviado pela ELETROSUL a Comissão de Estudos de Combustíveis do GCOI:

Considerando a atual situação mercadológica, que aponta uma contínua queda nos níveis de venda de cinza na UTE Jorge Lacerda e, o acentuado aumento no nível de geração, com conseqüente aumento na quantidade produzida, a ELETROSUL enviou ao coordenador da CEC/GCOI material para subsidiar decisão de adequação do preço ao momento atual. Face a inexistência de datas disponíveis para realização de reunião e, o novo preço devendo estar disponível para os tramites do próximo leilão. Solicitamos sua aprovação para o preço mínimo abaixo indicado, com vigência a partir de 1º de agosto próximo. (Quadro 14)

Quadro 14 – Preço mínimo para leilão da cinza seca produzida em Jorge Lacerda

| | | |
|-------------------|--------------------------|---|
| Cinza seca | UTE Jorge Lacerda | R\$/t 11,50 (tributos incluídos) |
|-------------------|--------------------------|---|

A Comissão de Estudos de Combustíveis delibera, de acordo com a decisão dos seus integrantes:

Temos a informar que o preço mínimo de R\$ 11,50 (onze reais e cinquenta centavos) por tonelada, tributos incluídos, para a cinza seca, produzida na UTE Jorge Lacerda, foi aprovado pela CEC/GCOI, através de consulta aos seus integrantes, com vigência a partir de 1º de agosto de 1996.

Na condição de empresa estatal do grupo ELETROBRÁS, coube a ELETROSUL – posteriormente GERASUL, seguir os termos da Lei N º 8666, de 27.06.1993, que regulamenta as vendas por leilões ou concorrências públicas.

Sendo assim, a venda da cinza resultante da queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda ocorria por meio de leilão público mensal, escolhido dentre as formas previstas na Lei N º 8666, a fim de preservar o mercado e evitar o monopólio que a concorrência pública poderia causar.

Os leilões eram realizados por empregados designados pela Administração, sendo publicados Avisos de Edital no Diário Oficial da União e em jornal de grande circulação do estado de Santa Catarina, com antecedência de quinze (15) dias.

Os clientes cadastrados recebiam pelo correio a cópia do Edital que continha as condições de participação. Encerrados os pregões, os arrematantes assinavam um termo de compromisso, comprometendo-se a cumprir as exigências editalícias, cabendo ao leiloeiro registrar em ata o resultado do certame.

A Tabela 8 apresenta a evolução anual do preço de venda da cinza seca do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, entre os anos de 1976 e 1992. O uso dos preços expressos em dólar ocorre devido as mudanças econômicas brasileiras que aconteceram no período.

Tabela 8 – Evolução anual do preço de venda da cinza seca no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| ANO | PREÇO DE VENDA DA CINZA SECA (US\$/t) |
|-------------------|--|
| 1976 | 2,40 |
| 1977 | 2,60 |
| 1978 | 2,10 |
| 1979 | 2,70 |
| 1980 | 2,50 |
| 1981 | 3,20 |
| 1982 | 2,90 |
| 1983 | 1,90 |
| 1984 | 1,20 |
| 1985 | 1,50 |
| 1986 | 1,30 |
| 1987 | 1,70 |
| 1988 | 1,90 |
| 1989 | 3,20 |
| 1990 | 2,60 |
| 1991 | 3,50 |
| 1992 (até agosto) | 4,10 |

Da Tabela 8 e da Figura 13 observa-se que o maior valor praticado no período foi US\$ 4,10 por tonelada de cinza seca produzida em Jorge Lacerda.

De maneira análoga, observa-se que o preço mínimo pago à tonelada da cinza proveniente da queima do carvão mineral seca foi US\$ 1,20. Este fato aconteceu no ano de 1984.

A Figura 13 permite observar, ainda, o crescimento quase linear do preço da cinza a partir do ano de 1986.

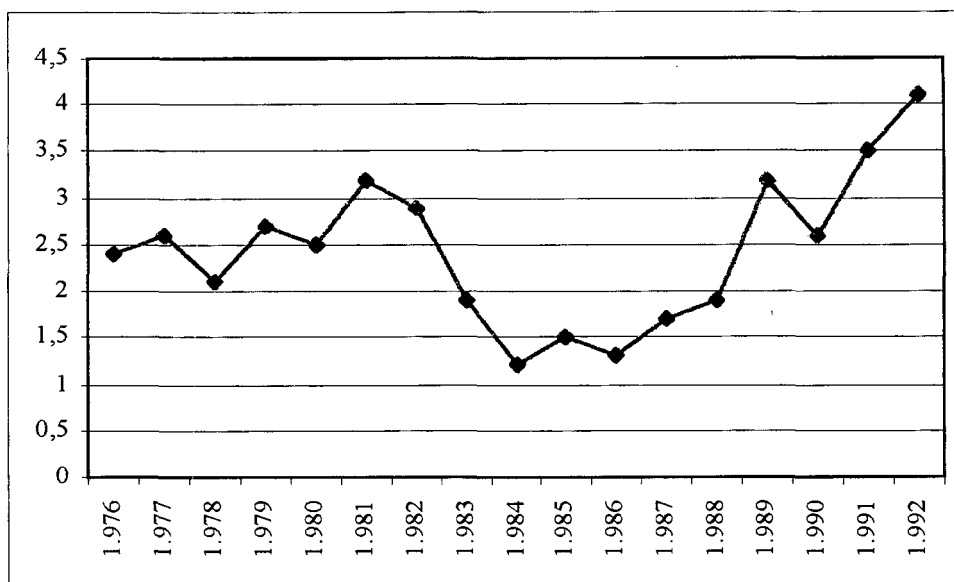


Figura 13 – Evolução anual do preço de venda da cinza seca no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

Em maior detalhamento, a Tabela 9 mostra a evolução do preço (mínimo, médio e máximo) de comércio da cinza seca produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, entre os meses de agosto/1992 e agosto/1996. Os valores continuam expressos em dólares.

Tabela 9 – Evolução mensal do preço (mínimo, médio e máximo) de venda da cinza seca no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| MÊS/ANO | PREÇO MÍNIMO (US\$/t) (PREÇO DE PARTIDA) | PREÇO MÉDIO (US\$/t) (PREÇO MÉDIO ARREIMATE) | PREÇO MÁXIMO (US\$/t) (MAIOR PREÇO PRATICADO) |
|----------------|--|--|---|
| Setembro/1992 | 8,40 | 8,40 | 8,40 |
| Janeiro/1993 | 8,60 | 8,60 | 8,60 |
| Agosto/1993 | 9,60 | 9,60 | 9,60 |
| Setembro/1993 | 9,30 | 28,80 | 41,70 |
| Outubro/1993 | 23,10 | 23,10 | 23,10 |
| Dezembro/1993 | 25,20 | 26,00 | 27,30 |
| Janeiro/1994 | 25,30 | 25,30 | 27,60 |
| Fevereiro/1994 | 25,30 | 26,10 | 37,30 |
| Março/1994 | 24,70 | 33,00 | 81,90 |
| Abril/1994 | 18,00 | 53,20 | 301,00 |
| Maio/1994 | 18,00 | 20,10 | 34,00 |
| Junho/1994 | 18,00 | 21,40 | 25,00 |
| Julho/1994 | 18,00 | 25,20 | 21,60 |
| Agosto/1994 | 19,40 | 27,60 | 30,90 |
| Setembro/1994 | 20,40 | 32,90 | 34,50 |
| Outubro/1994 | 21,10 | 35,70 | 38,10 |
| Novembro/1994 | 21,30 | 21,30 | 21,30 |
| Dezembro/1994 | 21,30 | 21,30 | 21,30 |
| Maio/1995 | 19,80 | 19,80 | 19,80 |
| Agosto/1995 | 19,30 | 19,30 | 19,30 |
| Dezembro/1995 | 18,70 | 18,70 | 18,70 |
| Janeiro/1996 | 18,60 | 18,60 | 18,60 |
| Março/1996 | 14,70 | 14,70 | 14,70 |
| Julho/1996 | 14,40 | 14,40 | 14,40 |
| Agosto/1996 | 11,40 | 11,40 | 11,40 |

Completando as informações da Tabela 9, a Figura 14 traça a evolução mensal do preço (mínimo, médio e máximo) de venda da cinza seca do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

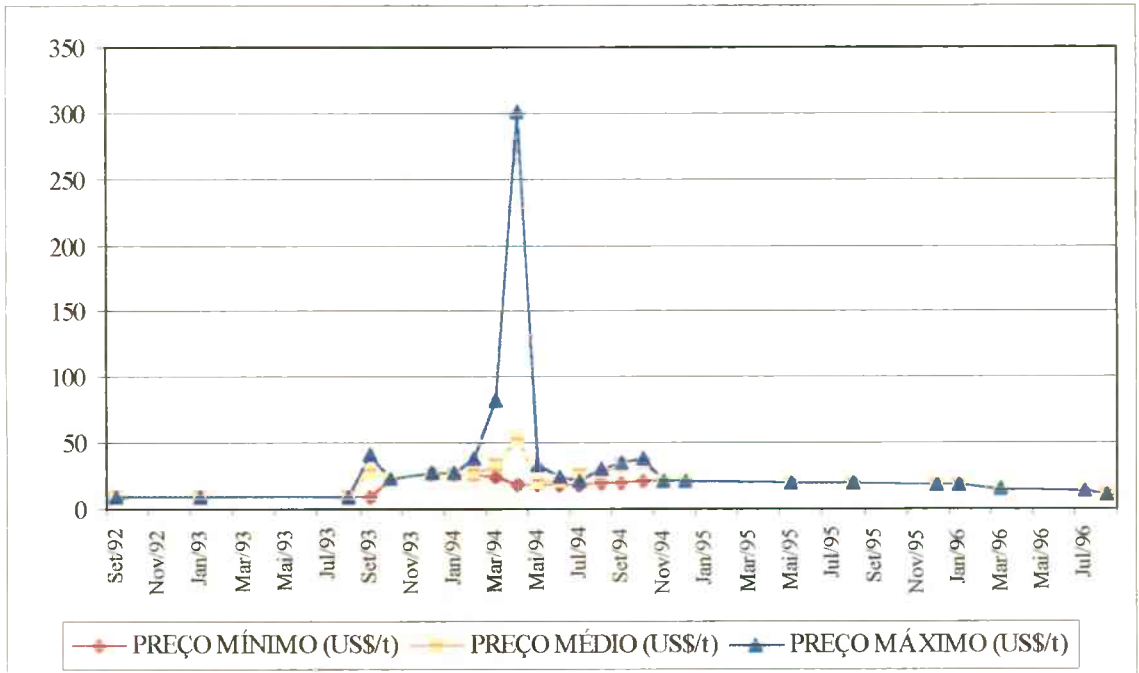


Figura 14 - Evolução mensal do preço (mínimo, médio e máximo) de venda da cinza seca no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

Nesse período, percebe-se que a disputa pela cinza seca aconteceu entre os meses de setembro/1993 e outubro/1994.

Em abril de 1994, o preço pago pela cinza seca chegou a US\$ 301,0. Este foi o maior valor que a GERASUL (na época ELETROSUL) obteve em leilão pela venda do subproduto cinza.

Segundo informa a GERASUL, o alto preço, praticado em abril de 1994, não é reflexo de escassez do subproduto, mas sim de disputa, onde grandes empresas desejavam prejudicar empresas menores, deixando-as sem matéria-prima (cinza).

Sobre o assunto, a GERASUL comenta a existência de um “acordo” entre as empresas participantes do leilão.

No referido acordo, as empresas menores participam da compra por leilão, mas jamais disputam quantidade e preço com as empresas maiores, que são suas fornecedoras de clínquer. Isto, porque se as pequenas compradoras aumentarem o valor do lance mínimo ou comprarem maior quantidade de cinza proveniente da queima do carvão mineral do que aquela habitual, sofrem boicote no fornecimento de clínquer, ficando impedidas de produzir, por falta de outra matéria-prima.

A partir do mês de agosto de 1996, R\$ 11,50 (onze reais e cinquenta centavos) foi o máximo valor pago pelo subproduto produzido nas usinas térmicas do Complexo Jorge Lacerda.

Em cada leilão mensal, realizado ao longo de 1998, foram ofertadas 25.000 toneladas de cinza seca, distribuídas em 250 lotes de 100 toneladas; e 100.000 toneladas de cinza úmida, distribuídas em 200 lotes de 500 toneladas cada.

A Tabela 10 elenca as empresas compradoras da cinza seca produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, bem como os valores adquiridos mensalmente, ao longo do ano de 1998. Como já explicitado, a cinza úmida não obteve comercialização.

Tabela 10 – Compra mensal da cinza seca produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| MÊS | EMPRESAS COMPRADORAS (toneladas) | | | | | | | | | |
|------------|---|------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| | CINZASUL | MFM | COMPLEXIX | IMBRALIT | ISDRALIT | ITAMBÉ | LIMA | POZOLANA | RIO BRANCO/PR | RIO BRANCO/SC |
| Janeiro | 0,00 | 0,00 | 1.915,08 | 900,92 | 707,14 | 4.194,93 | 231,25 | 5.980,00 | 1.502,84 | 6.813,26 |
| Fevereiro | 0,00 | 0,00 | 1.754,64 | 784,39 | 844,97 | 2.410,64 | 145,80 | 5.227,03 | 1.504,13 | 7.013,83 |
| Março | 0,00 | 0,00 | 2.030,15 | 196,58 | 991,47 | 3.754,17 | 256,26 | 7.127,20 | 503,57 | 7.007,08 |
| Abril | 0,00 | 0,00 | 1.811,06 | 897,59 | 1.008,68 | 3.412,54 | 628,17 | 5.499,43 | 897,67 | 5.988,76 |
| Maiο | 0,00 | 0,00 | 2.072,45 | 1.397,58 | 1.001,44 | 3.020,32 | 892,77 | 5.902,99 | 996,56 | 5.511,72 |
| Junho | 0,000 | 0,00 | 2.000,34 | 1.082,92 | 705,03 | 2.997,13 | 594,67 | 5.814,42 | 621,28 | 6.491,13 |
| Julho | 141,83 | 0,00 | 1.132,90 | 1.207,02 | 507,74 | 1.800,00 | 492,42 | 6.843,11 | 1.507,09 | 6.002,74 |
| Agosto | 1.008,25 | 0,00 | 1.280,02 | 1.506,88 | 501,43 | 2.600,60 | 652,14 | 6.135,82 | 618,58 | 6.256,21 |
| Setembro | 506,72 | 0,00 | 1.132,08 | 1.495,06 | 596,10 | 2.108,72 | 423,65 | 5.991,83 | 2.499,37 | 5.307,66 |
| Outubro | 520,90 | 0,00 | 1.400,71 | 1.601,38 | 880,76 | 2.800,53 | 600,88 | 5.715,53 | 2.504,82 | 5.494,21 |
| Novembro | 485,14 | 580,96 | 1.202,23 | 1.693,65 | 1.006,84 | 1.994,56 | 396,50 | 5.667,94 | 1.489,14 | 5.501,43 |
| Dezembro | 504,92 | 190,54 | 1.135,70 | 2.007,02 | 1.006,52 | 1.390,05 | 405,13 | 6.886,65 | 1.991,34 | 4.441,90 |

Dessas empresas compradoras, a Itambé, a Rio Branco/PR e a Rio Branco/SC são empresas fabricantes de Cimento Portland Pozolânico. A primeira pertence ao Grupo Itambé e as demais, ao Grupo Votorantim. A Imbralit e a Isdralit atuam na fabricação de fibrocimento e as demais empresas são beneficiadoras de cinza.

Os dados atuais mostram que as empresas concreteiras não adquirem a cinza diretamente da empresa geradora, mas das empresas beneficiadoras. Quanto as empresas de pré-fabricados, também não são compradoras de cinza. As empresas cimenteiras inclusive asseguram preço menor às empresas de pré-fabricados, se aventada a possibilidade de aquisição e incorporação de cinza pela empresa de pré-fabricados.

A Figura 15, construída a partir dos dados expressos na Tabela 10, ilustra a quantidade de cinza seca (em toneladas) adquirida pelas empresas compradoras ao longo de 1998.



Figura 15 - Compra mensal da cinza seca produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

A Tabela 11 apresenta o valor da compra média mensal realizada por cada empresa, ao longo de 1998.

Tabela 11 – Compra média mensal da cinza seca produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| EMPRESAS COMPRADORAS (toneladas) | | | | | | | | | |
|---|-------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| CINZASUL | MFEM | COMPLEXIX | IMBRALIT | ISDRALIT | ITAMBÉ | LIMA | POZOLANA | RIO BRANCO/PR | RIO BRANCO/SC |
| 527,96 | 385,75 | 1.572,28 | 1.230,92 | 813,18 | 2.707,02 | 476,64 | 6.066,00 | 1.386,37 | 5.985,83 |

Na Tabela 12 encontra-se o valor total mensal de cinza comercializado, por meio de leilão mensal, no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Tabela 12 – Valor total mensal da cinza proveniente da queima do carvão mineral comercializada no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda

| MÊS | TOTAL MENSAL COMERCIALIZADO (toneladas) |
|------------|--|
| Janeiro | 22.245,42 |
| Fevereiro | 19.685,43 |
| Março | 21.866,48 |
| Abril | 20.143,90 |
| Maior | 20.795,83 |
| Junho | 20.306,92 |
| Julho | 19.634,85 |
| Agosto | 20.559,93 |
| Setembro | 20.061,19 |
| Outubro | 21.519,72 |
| Novembro | 20.018,39 |
| Dezembro | 19.959,77 |

Como a realização de leilão mensal decorre de uma imposição legal (Lei N^o 8666/93) que afeta somente as empresas estatais, a partir de 24 de novembro de 1998 a GERASUL passou a comercializar a cinza do carvão mineral através de reuniões de alienação.

A Assessoria de Gestão e Comercialização (AGC) da Diretoria de Operação (DO) informa que os objetivos da realização de reuniões de alienação são a redução dos gastos com leiloeiros e o estabelecimento de parcerias e contratos de longo prazo com as empresas compradoras da cinza do carvão mineral.

O valor negociado nesses contratos de venda da cinza do carvão mineral deve estar vinculado ao valor comercial do índice elementar do cimento, publicado desde 1974 pela Fundação Getúlio Vargas no âmbito dos indicadores econômicos de custo da construção civil e obras públicas/materiais de construção. Este índice refere-se ao valor da saca de 50Kg de Cimento Portland Comum praticado no país em moeda nacional.

Segundo informa, ainda, a GERASUL, os contratos estão sendo firmados a partir do mês de fevereiro de 1999.

De qualquer forma, enquanto existir a Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), tais contratos deverão ser submetidos a aprovação da Comissão de Estudos de Combustíveis do Grupo Coordenador para Operação Interligada.

Após a privatização da GERASUL, o gerenciamento da comercialização de cinza do carvão mineral foi transferido da sede da GERASUL, localizada em Florianópolis, para o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, que será responsável, doravante, pela venda deste subproduto.

5.3 INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CIMENTO – O SETOR CONSUMIDOR

5.3.1 Caracterização geral

A indústria de cimento, pela natureza intermediária dos seus produtos, está incluída naquela categoria que se convencionou chamar de indústria básica.

O fato de participar dos setores básicos da economia faz com que a auto-suficiência do parque cimenteiro se revele extremamente importante para a reprodução endógena da acumulação de certos setores industriais que dependem largamente deste insumo, como

é o caso da construção civil. Assim, a indústria de cimento é extremamente importante para as atividades de construção, que são as principais demandantes do parque cimenteiro nacional.

Tal afirmação é corroborada pela análise da Tabela 13, onde apresenta-se o perfil da distribuição de cimento portland consumido no Brasil, construído a partir dos dados fornecidos pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC).

Pelo lado da oferta, o setor cimenteiro assume uma importância ainda maior, haja visto que fornece o insumo de uso mais generalizado na construção.

Tabela 13 - Perfil da distribuição de cimento portland nacional consumido no Brasil

| SEGMENTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO E CONSUMO | PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL (%) | | | |
|--|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 |
| 1. Revendedores | 78,62 | 78,51 | 77,80 | 75,87 |
| 2. Concreteiras | 9,03 | 9,76 | 10,06 | 10,25 |
| 3. Outros: | 12,29 | 11,73 | 12,14 | 13,88 |
| a) Consumidores industriais | 8,07 | 8,03 | 7,78 | 8,66 |
| <i>i. Fibrocimento</i> | 3,77 | 3,70 | 3,54 | 3,58 |
| <i>ii. Pré-moldados</i> | 1,94 | 1,72 | 1,92 | 2,20 |
| <i>iii. Artefatos</i> | 2,36 | 2,61 | 2,32 | 2,88 |
| b) Consumidores finais | 4,22 | 3,70 | 4,36 | 5,22 |
| <i>i. Construtoras e empreiteiras</i> | 3,55 | 3,30 | 4,02 | 4,96 |
| <i>ii. Órgãos públicos</i> | 0,53 | 0,32 | 0,28 | 0,23 |
| <i>iii. Prefeituras</i> | 0,14 | 0,08 | 0,06 | 0,03 |
| TOTAL | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

Devido às suas características físico-químicas, o Cimento Portland é pouco passível de diferenciação. As matérias-primas básicas da indústria cimenteira são o calcário e a argila, sendo que o Brasil conta com significativas ocorrências destes materiais em seu território, não obstante a relativa concentração espacial delas em poucos estados.

A Tabela 14 indica a quantidade de cimento produzida no Brasil, segundo os tipos, a partir do ano de 1969. Tais valores são informados no relatório anual (1998) do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento.

Tabela 14 – Tipos e quantidades de cimento portland produzidos no Brasil

| | QUANTIDADE PRODUZIDA (EM TONELADAS) – TIPO DE CIMENTO | | | | | | |
|------|---|-------------------------------|------------------------------|---|---------------|------------------|--------------|
| | <i>Comum</i> (CP I+CP II) | <i>Alto forno</i> (CP III) | <i>Pozolânico</i> (CP IV) | <i>Alta</i> <i>resistência</i> (CP V) | <i>Branco</i> | <i>Alvenaria</i> | <i>Total</i> |
| 1969 | 7.147.661 | 591.133 | 42.910 | - | 41.783 | - | 7.823.487 |
| 1970 | 8.085.346 | 683.231 | 191.707 | - | 42.147 | - | 9.002.431 |
| 1971 | 8.630.164 | 806.884 | 321.192 | - | 44.399 | - | 9.802.639 |
| 1972 | 10.157.815 | 769.278 | 398.366 | 9.604 | 46.368 | - | 11.381.431 |
| 1973 | 11.858.052 | 975.391 | 504.316 | 12.209 | 47.608 | - | 13.397.576 |
| 1974 | 13.012.318 | 1.120.481 | 694.303 | 41.218 | 51.324 | - | 14.919.644 |
| 1975 | 14.553.916 | 1.191.182 | 895.550 | 39.844 | 56.966 | - | 16.737.458 |
| 1976 | 16.857.142 | 1.109.022 | 1.083.014 | 31.296 | 66.320 | - | 19.146.794 |
| 1977 | 18.454.866 | 1424.827 | 1.152.352 | 24.316 | 66.566 | - | 21.122.927 |
| 1978 | 20.018.905 | 1.933.639 | 1.161.392 | 18.867 | 70.064 | - | 23.202.867 |
| 1979 | 20.852.793 | 2.494.909 | 1.446.973 | 10.203 | 68.776 | - | 24.873.654 |
| 1980 | 22.006.212 | 3.084.939 | 2.027.287 | - | 74.365 | - | 27.192.803 |
| 1981 | 21.243.776 | 2.315.170 | 2.423.009 | 717 | 68.398 | - | 26.051.070 |
| 1982 | 19.878.276 | 2.231.186 | 3.190.219 | 703 | 68.073 | 275.662 | 25.644.119 |
| 1983 | 15.827.163 | 1.813.842 | 3.046.112 | - | 61.813 | 121.005 | 20.869.935 |
| 1984 | 14.751.231 | 1.800.958 | 2.837.389 | - | 53.295 | 54.399 | 19.497.272 |
| 1985 | 15.123.643 | 2.076.436 | 3.346.974 | - | 56.482 | 30.978 | 20.634.513 |
| 1986 | 18.578.948 | 2.464.143 | 4.115.403 | - | 66.666 | 31.980 | 25.257.140 |
| 1987 | 17.958.386 | 2.670.667 | 4.752.512 | - | 57.794 | 28.668 | 25.468.027 |
| 1988 | 17.855.122 | 2.962.376 | 4.427.497 | - | 49.326 | 28.668 | 25.328.769 |
| 1989 | 18.762.586 | 3.432.211 | 3.634.062 | - | 52.462 | 34.448 | 25.920.012 |
| 1990 | 19.003.269 | 3.502.644 | 3.283.309 | - | 44.091 | 38.691 | 25.848.359 |
| 1991 | 20.610.912 | 3.380.891 | 3.445.764 | - | 46.427 | 15.046 | 27.490.090 |
| 1992 | 18.091.384 | 2.739.629 | 3.030.438 | - | 38.372 | 6.096 | 23.902.730 |
| 1993 | 18.868.362 | 2.840.259 | 2.474.997 | 622.317 | 36.121 | 2.907 | 24.842.915 |
| 1994 | 19.124.741 | 2.855.235 | 2.593.149 | 622.383 | 34.101 | 859 | 25.229.609 |
| 1995 | 21.748.906 | 3.082.366 | 2.648.679 | 742.190 | 34.163 | - | 28.256.304 |
| 1996 | 27.785.702 | 3.479.331 | 2.463.878 | 836.657 | 31.481 | - | 34.597.049 |
| 1997 | 30.946.736 | 3.599.719 | 2.396.073 | 1.125.307 | 28.208 | - | 38.096.043 |

A Tabela 15, igualmente construída com valores informados nos relatórios anuais (1998, 1996 e 1995) do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, indica que o tipo mais comum e de uso mais generalizado é o CP II: Cimento Portland Composto (NBR-11571). A Figura 16 reforça tal constatação.

Tabela 15 – Participação percentual da produção dos diferentes tipos de cimento

| | PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL PRODUZIDA - TIPO DE CIMENTO | | | | | | |
|------|---|--------------|---------------|--------------|-------------|---------------|--------------|
| | <i>CP I</i> | <i>CP II</i> | <i>CP III</i> | <i>CP IV</i> | <i>CP V</i> | <i>Branco</i> | <i>Total</i> |
| 1994 | 1,11% | 74,69% | 11,32% | 10,28% | 2,47% | 0,14% | 100% |
| 1995 | 2,92% | 74,05% | 10,91% | 9,37% | 2,63% | 0,12% | 100% |
| 1996 | 3,21% | 77,10% | 10,06% | 7,12% | 2,42% | 0,09% | 100% |
| 1997 | 3,17% | 78,06% | 9,45% | 6,29% | 2,95% | 0,07% | 100% |

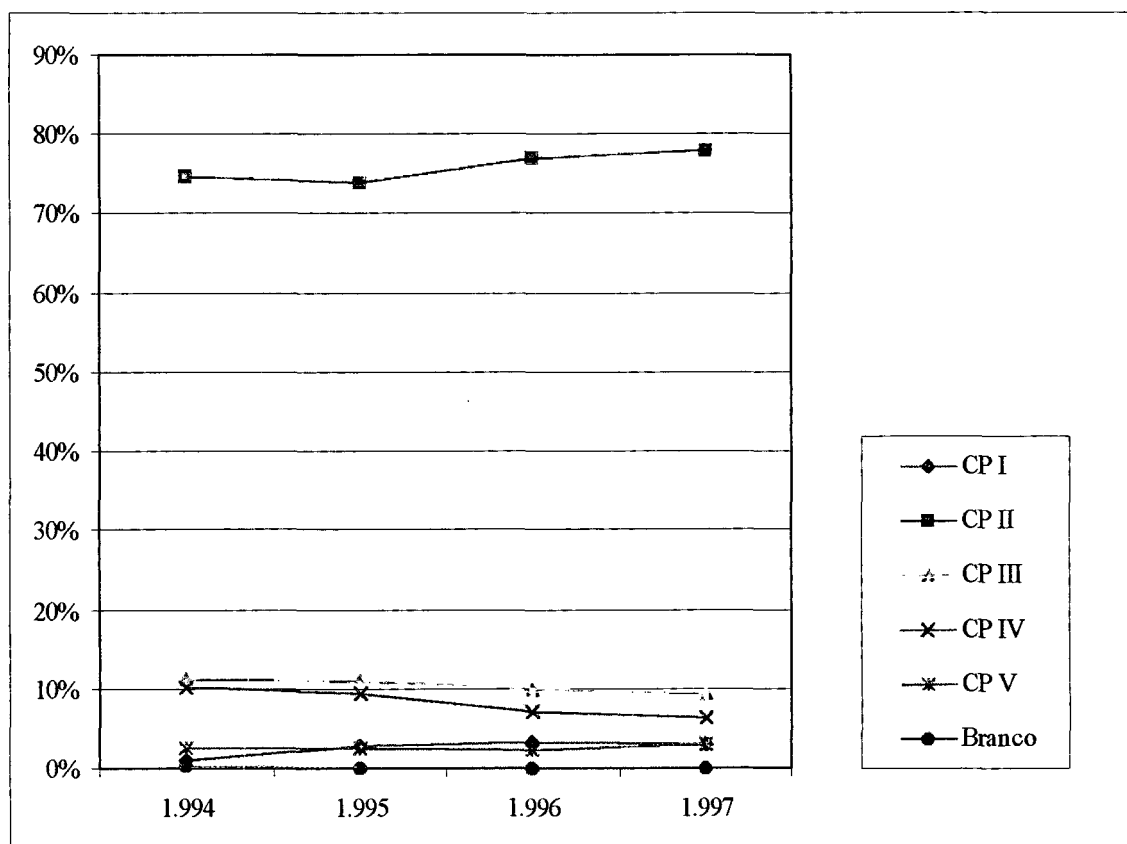


Figura 16 - Participação percentual da produção dos diferentes tipos de cimento

O cimento pode ser obtido por dois processos de fabricação distintos: via úmida e via seca. O primeiro processo, apesar de ser mais antigo, é pouco utilizado, atualmente, pelo elevado consumo de óleo combustível.

Isatto (1996) relata que a indústria brasileira de cimento portland emprega, em sua maioria, o processo via seca, que corresponde à tecnologia de última geração, apresentando, porém, pequena parcela de empresas automatizadas e um processo lento nesta direção. Neste sentido, tal autor afirma que:

Investimentos em P&D de forma individual são baixos, embora as empresas contribuam para a manutenção da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a qual tem como função difundir o uso do produto e dar apoio laboratorial para o controle da qualidade. Os avanços relacionados ao controle do impacto ambiental ainda são lentos se comparados aos países líderes em tecnologia (Japão, Suíça, França e Itália), onde se colocam como fatores de investimento primordiais do setor.

O estudo realizado pela Fundação João Pinheiro (1984) constata que a indústria cimenteira apresenta o mais elevado grau de concentração industrial de todo o gênero, seguida pelas indústrias de vidro/cristal e de material cerâmico.

De maneira geral, a indústria cimenteira, do ponto de vista dos coeficientes técnicos, é altamente capital-intensiva, visto que a participação da mão-de-obra nos custos diretos totais de produção é, em ambos os processos, menor que 3,5%.

Isatto (1996) explica que a liderança tecnológica e organizacional não coincide com a liderança por tamanho, uma vez que os grupos de maior participação no mercado não apresentam políticas de atualização e modernização tão claras quanto alguns grupos menores.

A concentração é elevada também quando se analisa a distribuição acionária e o controle do capital das empresas que operam no setor cimenteiro. No Brasil, dezessete grupos atuam no setor (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 1998). Deste universo, dois grupos (Votorantim, Itambé) adquirem a cinza gerada no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. Estes dois grupos são os fornecedores do cimento para as empresas de pré-fabricados da grande Florianópolis.

O grupo Votorantim detém mais de 40% da produção brasileira e opera em todo o território nacional. É seguido pelo grupo João Santos, que controla cerca de 10% da produção nacional e atua, principalmente, nos mercados das regiões Nordeste e Norte (Isatto, 1996).

Na fabricação de concreto, atuam empresas de pequeno e grande porte. Esta última situação é caracterizada por grandes grupos estrangeiros que também atuam na produção de cimento, como os grupos Holderbank (Ciminas/Concretex) e Lafarge (Mauá/Brasil Beton).

No setor de fibrocimento só atuam empresas de grande porte, enquanto os setores de artefatos e, principalmente, argamassas são bastante heterogêneos quanto ao porte. Apenas os grandes consumidores industriais se abastecem diretamente junto aos produtores de cimento (Haguenauer *apud* Isatto, 1996).

A coalizão entre empresas produtoras de cimento é um fato de dimensões que transcendem as fronteiras nacionais. Segundo Haguenauer *apud* Isatto (1996):

A instalação de uma nova fábrica em uma região com demanda reduzida pode inviabilizar o próprio investimento a operação das já instaladas, situação que certamente favorece a coalizão entre empresas... A experiência internacional mostra diferentes soluções institucionais na regulamentação da concorrência no setor desde fiscalização por órgãos específicos sobre cartéis legalmente constituídos que fixam preços, repartem o mercado e organizam o sistema de transporte (Suíça), até o controle público de preços e fretes com base em planilhas de custo médio (Itália).

Haguenauer *apud* Isatto (1996) explica, também, que o custo de transporte responde por significativa parcela dos custos finais de comercialização do cimento, restringindo geograficamente o mercado a um raio máximo de 300Km da fábrica, chegando a 500Km nas regiões de menor densidade populacional, tais como nas regiões Norte e Nordeste.

As características apontadas até aqui para a indústria do cimento – quais sejam: **[i]** Ser geradora de um produto pouco passível de diferenciação; **[ii]** Ter alto coeficiente de concentração; **[iii]** Ser liderada por grandes empresas; **[iv]** Exigir grande volume de capital para implantação de novas firmas; **[v]** Apresentar significativos diferenciais de

custo para as empresas líderes; *[vi]* Ser de tecnologia complexa – permite classificar a estrutura do mercado em que opera tal indústria como oligopólio puro ou concentrado³.

Pode-se afirmar que as características estruturais da indústria cimenteira brasileira influem decisivamente na quantidade de cinza de carvão mineral consumida e, explicam, de certa forma, os preços praticados pelo setor.

5.3.2 Caracterização específica

No que se refere ao Cimento Portland Pozolânico, Kihara & Scandiuzzi (1992) esclarecem que a cinza do carvão mineral é, geralmente, moída conjuntamente com o clínquer e as outras adições ao cimento (gesso e calcário).

Quando se dispõe de cinza com finura otimizada, esta pode ser adicionada e homogeneizada diretamente no Cimento Portland. Tal fato acontece com a cinza leve adquirida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

A produção de cimento com aproveitamento da cinza do carvão mineral está restrita à região Sul do Brasil, que possui oito unidades de produção. Esta informação encontra-se detalhada na Tabela 16.

Nesse sentido, uma vantagem encontrada para a produção de Cimento Portland Pozolânico no país está relacionada ao fato que as fábricas de cimento, localizadas junto as jazidas de matéria-prima para fabricação de clínquer, também estão próximas (menos de 500Km) dos depósitos de cinza de carvão mineral.

³ Para uma descrição pormenorizada da classificação ver: Fundação João Pinheiro Diagnóstico nacional da indústria da construção. Belo Horizonte: Diretoria de Projetos I, 1984. v. 7 Anexo 2.

Tabela 16 – Unidades de produção de cimento com aproveitamento de cinza do carvão mineral

| UNIDADE DE PRODUÇÃO | EMPRESA | LOCALIZAÇÃO |
|----------------------------|--|----------------------|
| Itambé | Cia de cimento Itambé | Balsa Nova/PR |
| Votorantim | Companhia de Cimento Portland Rio Branco | Rio Branco do Sul/PR |
| Votorantim | Companhia de Cimento Portland Rio Branco | Itaperuçu/PR |
| Votorantim | Companhia de Cimento Portland Rio Branco | Itajaí/SC |
| Votorantim | Companhia de Cimento Portland Gaúcho | Esteio/RS |
| Votorantim | Companhia de Cimento Portland Gaúcho | Pinheiro Machado/RS |
| Cimpor | Sociedade de cimentos do Brasil Ltda. | Candiota/RS |
| Cimpor | Sociedade de cimentos do Brasil Ltda. | Nova Santa Rita/RS |

No estado do Rio Grande do Sul, a cinza proveniente da queima do carvão mineral usada como pozolana é proveniente das usinas termelétricas de Charqueadas e Presidente Médici, e das caldeiras da RIOCELL e COPESUL. Em Santa Catarina e no Paraná, do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

A Figura 17 mostra o universo das empresas que atuam no setor, destacando aquelas indicadas na Tabela 16.

Zwonok *et al.*, 1996 comentam que existe produção de Cimento Portland Pozolânico também em outros estados do Brasil. Todavia, as fábricas de Cimento Portland Pozolânico da região Nordeste são abastecidas por pozolana natural (rocha vulcânica) e argila calcinada (Kihara & Scanduzzi, 1992) e; por cinza produzida em unidades industriais que usam carvão mineral pulverizado como combustível naquelas regiões, como por exemplo o Consórcio de Alumínio do Maranhão (Zwonok *et al.*, 1996).



Figura 17 – Disposição das fábricas de cimento portland no Brasil

Fonte: Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (1998)

A Tabela 17 apresenta a produção mensal de cimento portland pozolânico (CP IV) ao longo dos anos de 1994, 1995, 1996 e 1997, assim como a variação percentual da produção em relação ao mesmo mês do ano anterior.

Tabela 17 – Produção mensal de CP IV e variação percentual da produção mensal

| MÊS | PRODUÇÃO MENSAL DE CP IV | | | | VARIAÇÃO PERCENTUAL (%) (MESMO MÊS DO ANO ANTERIOR) | | |
|-----------|--------------------------|---------|---------|---------|--|-----------|-----------|
| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1995/1994 | 1996/1995 | 1997/1996 |
| Janeiro | 220.886 | 218.253 | 202.576 | 201.212 | 6,36 | 15,34 | 10,30 |
| Fevereiro | 198.490 | 189.611 | 186.464 | 184.048 | 13,12 | 23,15 | 13,82 |
| Março | 215.528 | 243.854 | 200.488 | 194.780 | 9,52 | 19,36 | 13,42 |
| Abril | 176.170 | 208.689 | 197.080 | 213.952 | 20,88 | 21,16 | 12,61 |
| Maiο | 193.388 | 230.938 | 217.174 | 215.473 | 15,45 | 28,36 | 6,15 |
| Junho | 192.475 | 227.538 | 193.218 | 179.114 | 20,74 | 23,26 | 0,08 |
| Julho | 205.390 | 219.632 | 220.193 | 202.813 | 25,42 | 26,67 | 8,00 |
| Agosto | 214.203 | 215.899 | 230.559 | 206.369 | 13,17 | 29,01 | 10,63 |
| Setembro | 248.019 | 241.137 | 192.630 | 203.955 | 1,06 | 19,99 | 15,88 |
| Outubro | 247.240 | 229.474 | 193.087 | 201.274 | 3,97 | 22,53 | 13,00 |
| Novembro | 245.707 | 219.221 | 206.897 | 183.565 | 10,32 | 24,90 | 8,58 |
| Dezembro | 232.653 | 204.433 | 223.512 | 209.518 | 10,71 | 15,30 | 9,95 |

A análise da Tabela 17, da Tabela 15 e da Figura 16, mostram que a produção de Cimento Portland Pozolânico, no Brasil, não ultrapassou a casa dos 10% nos últimos anos.

Esse valor, pequeno em relação a produção brasileira total de Cimento Portland, vem ao encontro da conclusão de Malhota & Hemmings (1995) sobre a produção de cimento com adição mineral nos Estados Unidos ser somente marginal, se comparada a produção total de cimento daquele país.

Trata-se de um valor superior ao percentual de 4,7%, apresentado por Pera (1996), para a fabricação de cimento com cinza volante nos países europeus, no ano de 1992.

Os dados mostram, ainda, que a produção de Cimento Portland Pozolânico vem diminuindo a cada ano, mostrando uma realidade oposta àquela desejada; uma vez que, decorrente deste fato, a comercialização de cinza proveniente da queima do carvão mineral também tem diminuído ao longo dos anos.

5.4 PESQUISA PILOTO PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTES PRÉ-FABRICADOS – A ALTERNATIVA DE APROVEITAMENTO

Dosagens experimentais de peças de concreto para pavimentação e de blocos de concreto (com fins estruturais e de vedação), com substituição parcial de matéria-prima convencional por cinza pesada (úmida) seca em estufa, vêm sendo realizadas em escala piloto no processo produtivo de determinada empresa do setor; pelo grupo de pesquisa em resíduos do NPC/UFSC com a cinza produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

5.4.1 Peças de concreto para pavimentação

O processo de fabricação das peças de concreto para pavimentação utiliza as seguintes matérias-primas em sua composição:

- ◆ Areia fina, fornecida pela Argasul;
- ◆ Areia média, proveniente do Rio Tijucas;
- ◆ Pedrisco, fornecido pela Saibrita;
- ◆ Cimento Portland (CP V-ARI) Votoran;
- ◆ Cinza pesada, das bacias de sedimentação do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Para a pesquisa, são moldados briquetes com a composição convencional da empresa, e também com substituição de 30% de Cimento Portland por cinza pesada, conforme dosagem apresentada na Tabela 18.

Tabela 18 - Dosagens usadas na fabricação das peças de concreto para pavimentação

| MATÉRIA-PRIMA | CONVENCIONAL | COM SUBSTITUIÇÃO |
|------------------|-----------------|------------------|
| Cimento Portland | 150 Kg | 120 Kg |
| Cinza pesada | - | 30 Kg |
| Areia fina | 100 Kg | |
| Areia média | 670 Kg | |
| Pedrisco | 260 Kg | |
| Água | 76,7 Kg (6,5 %) | |

Para a produção, inicialmente é realizada a pesagem de cada material separadamente. No processo produtivo desta empresa, a pesagem é realizada por uma mesa de controle que determina a dosagem de água e a dosagem dos materiais sólidos. Desta forma, a água é controlada para manter a umidade em torno de 6,5%.

Tal mistura é levada ao prensador (Figura 18), onde estão acoplados os moldes para fabricação das peças de concreto para pavimentação, que podem variar na altura entre 6 e 8 cm.

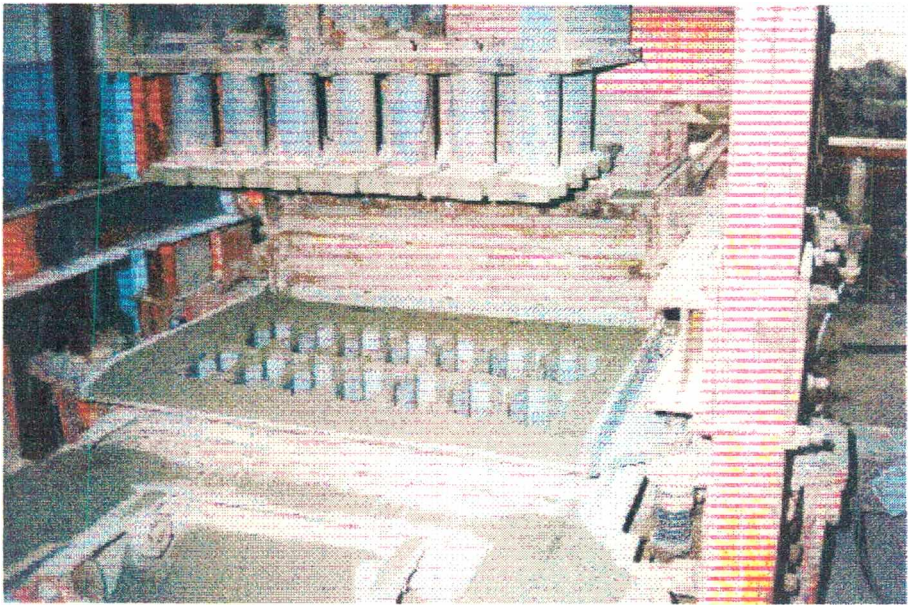


Figura 18 - Prensador e moldes para as peças de concreto para pavimentação

Quando os moldes já estão com material suficiente para a confecção das peças, são prensados e vibrados até atingir a altura adequada e a mínima percentagem possível de vazios. Após, os moldes são retirados e as peças saem encima de uma placa de madeira (Figura 19).

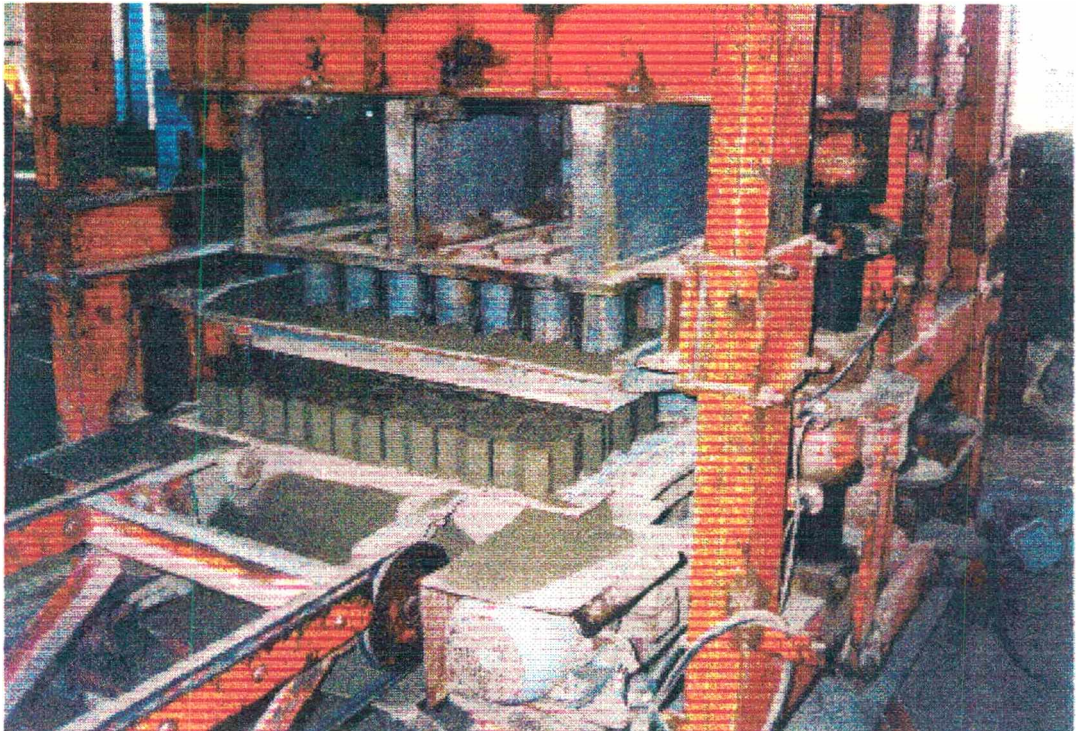


Figura 19 - Peças de concreto para pavimentação sendo moldadas

Na placa de madeira, as peças são transportadas e colocadas em cura por 48 horas, em uma câmara a vapor com temperatura aproximada de 70^o C.

Foram realizados ensaios de resistência à compressão (Fck) aos 14 e 28 dias após a data de moldagem. Estes ensaios seguiram a norma NBR-9780: Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão.

Os valores obtidos nos ensaios encontram-se dentro dos valores aceitos na NBR-9781: Peças de concreto para pavimentação. Isto comprova a viabilidade de incorporação da cinza do carvão mineral nas peças de concreto para pavimentação.

5.4.2 Blocos de concreto

O mesmo processo produtivo descrito para a fabricação das peças de concreto para pavimentação foi usado para a fabricação dos blocos de concreto simples para alvenaria de vedação e alvenaria estrutural.

Nesse caso, foram realizadas substituições de Cimento Portland, em percentagens de 05% e 10%, e substituição de 10% de Cimento Portland e 100% de areia fina.

Os resultados satisfatórios obtidos nos ensaios prescritos nas Normas Técnicas (NBR-6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural e NBR-7186: Bloco vazado de concreto para alvenaria – Determinação da área líquida) nortearam a identificação do custo unitário dos produtos.

5.4.3 Custo unitário dos componentes

O cálculo do custo unitário do bloco de vedação 14cm (14,0 x 19,0 x 39,0cm) foi realizado de acordo com os traços do estudo experimental descrito. Foram substituídos os quantitativos da matéria-prima convencional por cinza pesada, e seus respectivos custos na planilha de rateio usada pela empresa, obtendo-se o custo unitário do componente pré-fabricado pesquisado.

Por questões mercadológicas, a planilha de rateio dos custos não foi disponibilizada à pesquisa. Apresenta-se, então, os valores finais calculados:

- ⇒ Bloco de vedação 14cm com matéria prima convencional = **R\$ 0,7572/unidade**;
- ⇒ Bloco de vedação 14cm com substituição de 05% de Cimento Portland por cinza pesada = **R\$ 0,7486/unidade**;
- ⇒ Bloco de vedação 14cm com substituição de 10% de Cimento Portland por cinza pesada = **R\$ 0,7424/unidade**;
- ⇒ Bloco de vedação 14cm com substituição de 10% de Cimento Portland e 100% de areia fina por cinza pesada = **R\$ 0,7361/unidade**.

Desses valores, comprova-se que a substituição de matéria-prima convencional por cinza pesada mostra-se vantajosa economicamente, pois reduz o custo unitário do componente pré-fabricado.

5.5 EMPRESAS DE COMPONENTES PRÉ-FABRICADOS DA GRANDE FLORIANÓPOLIS - A REALIDADE DAS POTENCIAIS USUÁRIAS

5.5.1 Características gerais

A Tabela 19 apresenta uma caracterização geral da amostra, dada pelo tempo de atuação no mercado, número de funcionários e classificação do porte das empresas pesquisadas. Esta classificação segue o padrão adotado pelo SEBRAE para a indústria em geral, caracterizando micro empresa àquela que possui até 20 empregados; pequena empresa, de 21 a 99 empregados; média, de 100 a 499 empregados e grande, 500 ou mais empregados registrados.

Tabela 19 – Caracterização geral da amostra

| EMPRESA | A | B | C | D | E | F |
|-------------------------|---------|-------|-------|---------|---------|-------|
| Tempo de atuação (anos) | 10 | 02 | 01 | 17 | 24 | 01 |
| Número de funcionários | 31 | 19 | 15 | 26 | 95 | 10 |
| Classificação | Pequena | Micro | Micro | Pequena | Pequena | Micro |

Das seis empresas pesquisadas, quatro têm posto para venda direta do estoque, três têm loja para venda de insumos para construção localizada junto à fábrica, e duas destas empresas atuam na construção civil, empregando seus produtos pré-fabricados.

Quanto aos produtos, são pré-fabricados para pavimentação e para construção de edificações.

Enquanto a **Empresa F** fabrica somente vigas, usadas em lajes pré-moldadas, a **Empresa E** produz lajotas de 25 ou 30cm ou, ainda, paralelepípedos, além de meio-fios, vigas para lajes pré-moldadas, tubulações e estruturas padronizadas para galpões.

Já as **Empresas A e B** produzem componentes para pavimentação e blocos para construção, com fins estruturais e de vedação.

Nesse sentido, a quantidade diária de produção mostra que as empresas destinam atenção especial a um tipo de produto, sejam blocos para pavimentação, blocos para edificações ou vigas para lajes pré-moldadas, em função da demanda do mercado da construção.

Os custos unitários são conhecidos por toda a amostra, porém não declarados para a pesquisa.

Os insumos usados na produção variam em função dos produtos fabricados. O cimento, presente em todas fábricas, é fornecido pela Itambé para duas empresas, e pela Votorantim para as quatro restantes. São usados o Cimento Portland Comum (CP I), o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) e o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI).

Em relação ao processo produtivo, é utilizada a vibração com cura ao ar livre em quatro empresas, e a vibro-prensagem com cura a vapor na estufa pelas duas outras.

É importante destacar que o processo de produção e de cura podem ser decisivos na qualidade (desempenho) do produto ofertado, quanto a incorporação da cinza do carvão mineral nos componentes pré-fabricados.

5.5.2 Respostas sobre o aproveitamento da cinza do carvão mineral

A adição da cinza do carvão mineral ao cimento portland na fabricação do CP IV (Cimento Portland Pozolânico) é conhecida por todos os entrevistados.

Sobre o cimento portland pozolânico, três empresas fazem uso, duas não utilizam e a **Empresa E** já utilizou mas declara que “não usa porque retarda a pega”.

O aproveitamento de resíduos sólidos industriais, quais sejam: cinza leve, cinza pesada, cinza de casca de arroz, lodo têxtil ou outros, é bastante aceita. A Figura 20 apresenta as respostas obtidas da amostra perante três questões.

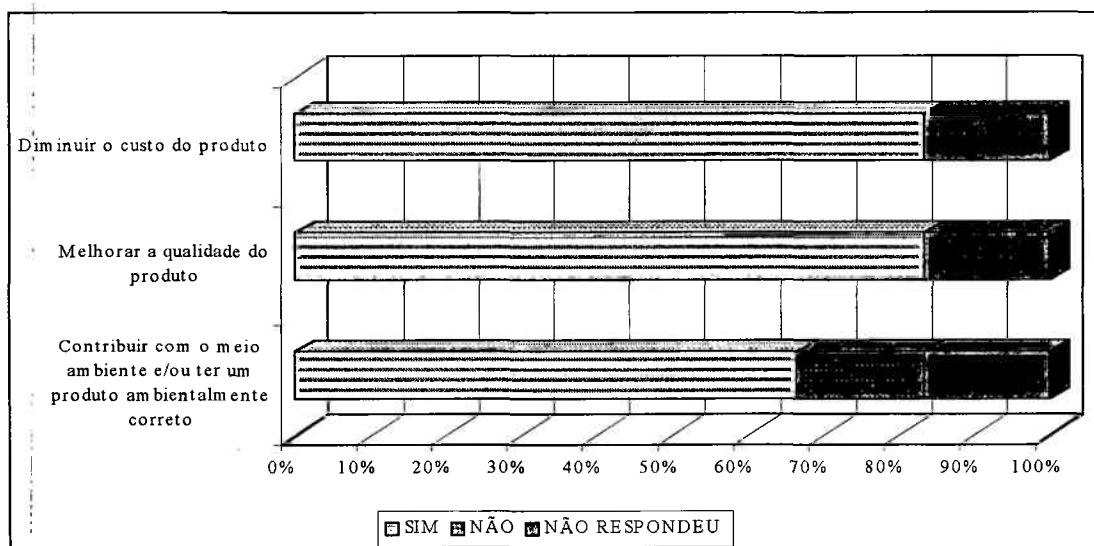


Figura 20 – Respostas da amostra sobre o aproveitamento de resíduos sólidos industriais

Quanto ao aspecto visual, as respostas são divididas. Três empresas continuam dispostas a usar a cinza do carvão mineral mesmo com mudança na cor do componente. A **Empresa E** declara: “O visual não interessa”.

Todavia, outras três não fariam o aproveitamento se houvesse mudança de cor. A **Empresa A** esclarece: “Para bloco estrutural sim, mas para bloco de vedação, não”.

Para testar as dosagens experimentais estabelecidas com o uso da cinza do carvão mineral, desenvolvidas pelo Núcleo de Pesquisa em Construção, três empresas estão interessadas e outras três não. O entrevistado da **Empresa E** declara: “O dono não quer”.

Dos entrevistados, três acreditam que o cliente da empresa compra o produto fabricado com incorporação de cinza do carvão mineral, porém dois outros acham que não, e um deles não sabe responder.

Quando questionados se acreditam que o cliente final compra o imóvel se souber da incorporação de cinza do carvão mineral nos componentes, as respostas foram positivas para quatro empresas entrevistadas, negativa para uma, e a outra não soube responder. Foram mencionadas por três entrevistados, experiências mal sucedidas divulgadas nos meios de comunicação, tais como as primeiras informações sobre o desabamento do Edifício Palace II no Rio de Janeiro, lembrando o nome de Sérgio Naya.

Percebe-se que as respostas das empresas são variáveis, e dependentes do processo de produção e do conhecimento técnico do entrevistado.

O processo de produção, por sua vez, depende do tamanho da empresa em estudo e do tempo de atuação no mercado.

Quanto ao conhecimento técnico, são abordadas as dificuldades para o aproveitamento de resíduos sólidos industriais enumeradas no Capítulo 3 (Haddad *et al.*, 1997).

5.6 FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE (FATMA) – A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

5.6.1 Considerações iniciais

A legislação ambiental tem por objetivo principal assegurar a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, como um bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, cabendo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (Constituição - Cap. VI, Art. 225).

Partindo dessa premissa, a legislação deve buscar, através dos seus instrumentos, a compatibilização do desenvolvimento econômico e social com a preservação da qualidade ambiental, em níveis que garantam o equilíbrio ecológico, ou seja, um desenvolvimento sustentável (Coelho, 1996).

O capítulo da Constituição da República Federativa do Brasil específico sobre o meio ambiente, no Artigo 225, estabelece que todos têm direito ao meio ambiente

ecologicamente equilibrado e, para tanto, incumbe ao Poder Público, entre outras coisas, exigir da obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, um estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade.

Além disso, aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente.

As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independente da obrigação de reparar os danos causados.

A legislação ambiental, vigente no Brasil, além do previsto na Constituição Federal, compreende uma série de diplomas legais disseminados (Código de Águas, Código Florestal, Código de Mineração e outros), e um conjunto promulgado diretamente pelos órgãos do meio ambiente, em datas mais recentes, a partir da década de 80.

Nesse conjunto, distinguem-se dois tipos básicos de regulamentação:

- ◆ Um grupo de normas e padrões de emissão e qualidade ambiental, onde são fixados limites máximos para a poluição (aérea, hídrica e sólida) que o empreendimento pode provocar;
- ◆ Um conjunto de normas criando e regulamentando o licenciamento ambiental de atividades poluidoras, junto aos órgãos do meio ambiente.

No Brasil, o licenciamento das atividades poluidoras, junto aos órgãos de controle ambiental, foi regulamentado como instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente, em 1983, através do Decreto 88351.

Posteriormente, foi editada a Resolução CONAMA 001/86, que institui o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) como documento necessário à obtenção do licenciamento ambiental de atividades poluidoras.

A legislação brasileira baseia-se na legislação americana, adotando a seguinte filosofia de controle para cada tipo de resíduo:

- ♦ Classificação dos resíduos, de acordo com resultados de testes químicos, em três categorias (perigosos, não inertes e inertes);
- ♦ Aplicação de medidas de controle diferenciadas, em três graus de rigor, de acordo com a classificação obtida.

As normas para a classificação dos resíduos, estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são: NBR-10004: Resíduos sólidos - Classificação; NBR-10005: Lixiviação de resíduos - Procedimento; NBR-10006: Solubilização de resíduos - Procedimento; NBR-10007: Amostragem de resíduos. Tais normas técnicas foram comentadas em 3.3.1.

5.6.2 Exigências da Fundação do Meio Ambiente

Exigências à GERASUL:

As exigências e a fiscalização que a Fundação do Meio Ambiente submete a GERASUL decorrem da legislação de controle da poluição, que busca controlar a poluição aérea, os resíduos sólidos e a poluição hídrica, através dos termos dispostos nas Resoluções CONAMA.

A maior preocupação tem sido no controle da poluição aérea, cujos instrumentos legais básicos são os padrões de qualidade do ar, o zoneamento ambiental, os padrões de incremento e os padrões de emissão de poluentes aéreos.

Os padrões de emissão referem-se a quantidades máximas de poluentes do ar que as indústrias podem lançar na atmosfera, medidas nas chaminés.

A Resolução CONAMA 008/90 estabelece padrões de emissão para dióxido de enxofre e material particulado, para fontes fixas cuja combustão seja realizada nos seguintes equipamentos: caldeiras, geradores de vapor, centrais para geração de eletricidade, fornos, fornalhas, estufas e secadores para a geração e uso de energia térmica, incineradores e gaseificadores.

Para o controle da poluição hídrica, a Resolução CONAMA 020/86 estabelece a classificação das águas nacionais em doces, salobras e salinas (uso preponderante), fixa

os padrões de qualidade da água para cada classe, e os padrões de emissão para efluentes líquidos. Os padrões de emissão de efluentes líquidos são as concentrações máximas de poluentes permitidas no efluente que sai da indústria antes dele entrar nos cursos d'água.

Nas águas das Classes 1 a 8 são tolerados lançamentos de despejos, desde que, além de atenderem aos padrões de emissão, não venham a fazer com que os limites de qualidade estabelecidos para as respectivas classes sejam ultrapassados. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nos corpos de água, desde que obedeçam aos limites ou padrões de emissão estabelecidos.

Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o seu enquadramento nos termos da resolução CONAMA 020/86. Resguardados os padrões de qualidade do corpo receptor, demonstrado por estudo de impacto ambiental realizado pela entidade responsável pela emissão, o órgão competente poderá autorizar lançamento acima dos limites estabelecidos, fixando o tipo de tratamento e as condições para esse lançamento.

Da resolução CONAMA 020/86, a observação da FATMA sobre a GERASUL, é realizada especialmente nos itens a), b) c) e d), no que diz respeito à água que conduz a cinza pesada da usina à bacia de sedimentação, e da bacia de sedimentação ao Rio Tubarão.

Para os resíduos sólidos, a construção e utilização de silos armazenadores e de bacias de sedimentação no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda foi determinação da FATMA, que fiscaliza o seu funcionamento.

Exigências quanto ao transporte da cinza do carvão mineral:

Por tratar-se do transporte de um material não inerte, as empresas transportadoras necessitam de autorização da FATMA.

Por esse motivo, A FATMA acordou com a empresa geradora que somente retiram cinza do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, as empresas participantes do leilão e a empresa contratada para transportar a cinza pesada das bacias de sedimentação à área destinada à recuperação ambiental, determinada pela Fundação do Meio Ambiente.

Além disso, o transporte da cinza leve deve ser realizado em caminhões *cebolões*, e da cinza pesada, em caminhões com carroceria coberta.

Exigências quanto ao uso da cinza do carvão mineral:

As exigências quanto aos resíduos sólidos são dadas em função da classificação destes resíduos pelas normas técnicas citadas em 3.3.1.

Para a Fundação do Meio Ambiente, a cinza pode ser tratada como uma matéria-prima convencional para o setor da construção, desde que cumpra as funções de desempenho, de acordo com as normas técnicas pertinentes.

Quanto a estocagem da cinza na empresa compradora, a FATMA determina que deve ser realizada em silos ou depósitos apropriados.

Quanto a implantação de uma unidade industrial que utiliza cinza do carvão mineral, as exigências da FATMA dizem respeito ao seu enquadramento dentro dos limites impostos pela legislação vigente, em sua área de implantação.

Definidas a concepção e as características básicas da unidade industrial, através da análise detalhada da legislação, surgem os parâmetros básicos que permitem conceituar, definir e orçar os seus sistemas de proteção ambiental.

Do ponto de vista das medidas de proteção ao meio ambiente, o primeiro passo a ser dado na implantação de qualquer projeto, consiste no licenciamento do empreendimento junto ao órgão estadual de controle ambiental.

O licenciamento ambiental constitui a comprovação legal de sua viabilidade ambiental, sendo regulamentado em três etapas: a Licença Ambiental Prévia (LAP), a Licença Ambiental de Instalação (LAI) e a Licença Ambiental de Operação (LAO). Tais etapas correspondem a três fases do empreendimento: viabilidade quanto aos aspectos de impacto e diretrizes de uso do solo; projeto executivo final; e testes de operação ou qualquer meio técnico de verificação (Legislação ambiental básica do estado de Santa Catarina – Decreto 14250, Art. 70, 71, 72 e 73).

A Licença Ambiental Prévia é obtida através de consulta acompanhada das características básicas do empreendimento, sendo requeridos a definição, a

caracterização e a concepção do tipo de atividade a instalar, a eficiência dos equipamentos anti-poluição e o estudo dos impactos ambientais decorrentes do empreendimento (EIA/RIMA), quando necessário.

A Licença Ambiental de Instalação já requer a apresentação do projeto básico dos sistemas de controle ambiental da atividade, que deverão ser compatíveis com as informações do EIA/RIMA. O projeto básico será analisado e aprovado pelo órgão controlador, que irá usá-lo como parâmetro básico na fiscalização da implantação do empreendimento.

Um aspecto da Resolução CONAMA 001/86 que pode afetar todo o projeto da unidade industrial ou atividade é a exigência do estudo ambiental de diversas localizações alternativas e diversas tecnologias para os processos. No estudo deve ser contemplada a possibilidade de não realização da obra.

Construída a unidade industrial, os testes de desempenho dos equipamentos e sistemas de tratamento de efluentes e de monitoramento ambiental devem fazer parte do comissionamento da unidade. Os resultados dos testes devem constar de relatório a ser anexado ao requerimento da Licença Ambiental de Operação (LAO), obtida após vistoria nos equipamentos de proteção ambiental. Esta licença (LAO) é renovada periodicamente até o fim da vida útil do empreendimento.

Durante a vida útil da unidade industrial, esta poderá ficar sujeita, por força de lei, a instalação de sistemas (obras e equipamentos) adicionais de controle ambiental. Os sistemas de tratamento e monitoramento da unidade industrial deverão ser revisados e modificados caso se verifique estarem inadequados às suas finalidades.

Finda a vida útil da unidade industrial ou determinado o seu fechamento definitivo por qualquer motivo, será apresentado ao órgão de controle da poluição um plano de paralisação, abrangendo a recuperação e a recomposição paisagística das áreas utilizadas pela unidade industrial, bem como a destinação das suas edificações.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu, através da investigação dos agentes intervenientes, o conhecimento aprofundado sobre o cenário envolvido no aproveitamento da cinza proveniente da queima do carvão mineral em produtos de construção.

Comprova-se que o interesse em aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral, assim como todo o interesse no aproveitamento de resíduos sólidos industriais, pode se fundamentar em aspectos de ordem econômica (pela redução do custo de fabricação de materiais, componentes e elementos da construção civil, agregação de valor ao resíduo e diminuição dos recursos consumidos em aterros industriais); ordem técnica (atendendo aos requisitos de desempenho); de proteção ambiental (pela prevenção e controle da poluição e do impacto); e de ordem sócio-econômica (pela redução do custo e do déficit habitacional, e criação de empregos).

O trabalho mostra que a cinza pode ser considerada um produto da usina termelétrica, com possibilidades de aplicação tecnológica na construção, na fabricação e na estabilização de resíduos, como descreve a bibliografia afim.

Apesar das muitas aplicações, a nível mundial, assim como no Brasil e no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, o aproveitamento da cinza gerada nas indústrias de energia atinge, em média, 30% do total produzido.

Estudos realizados com substituição parcial de matéria-prima convencional por cinza, na fabricação de componentes para a construção civil, sugerem um uso potencial para o resíduo.

A bibliografia enfatiza que todo resíduo sólido industrial deve ser avaliado quanto ao seu potencial de uso na construção civil. No Brasil, não existe normalização para o uso da cinza do carvão mineral produzida em usina termelétrica, como acontece em outros países. As normas brasileiras restringem-se a adição da cinza do carvão mineral como pozolana no Cimento Portland e aos ensaios de avaliação da atividade pozolânica da cinza.

A organização do cenário descrito mostra a importância dos intervenientes internos e externos ao uso da cinza do carvão mineral, quais sejam: Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, indústria cimenteira, grupo de pesquisa em resíduos do Núcleo de Pesquisa em Construção da Universidade Federal de Santa Catarina, indústria de componentes pré-fabricados, e Fundação do Meio Ambiente. Esta característica se assemelha a organização de trabalhos desenvolvidos a nível internacional.

Quanto a produção da cinza gerada durante a queima do carvão mineral no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, é abundante e disponível para comercialização. Constitui propriedade das empresas convenientes do GCOI, órgão responsável pela compra do carvão mineral e deliberação do preço de venda da cinza.

Quanto a comercialização, a cadeia produtiva do cimento é, atualmente, a única cliente do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. Das empresas compradoras, a Itambé, a Rio Branco/PR e a Rio Branco/SC são empresas fabricantes de Cimento Portland Pozolânico. A primeira pertence ao Grupo Itambé e as demais, ao Grupo Votorantim.

A Imbralit e a Isdralit atuam na fabricação de fibrocimento e as demais empresas são beneficiadoras de cinza.

Dados atuais mostram que as empresas concreteiras não adquirem cinza diretamente da empresa geradora, mas das empresas beneficiadoras.

As empresas de pré-fabricados, por sua vez, utilizam o Cimento Portland Pozolânico comprado das cimenteiras.

Quanto as empresas de pré-fabricados, também não são compradoras de cinza. As cimenteiras inclusive asseguram preço menor às empresas de pré-fabricados, se aventada a possibilidade de aquisição e incorporação da cinza na fábrica de pré-fabricação.

A produção de cimento com aproveitamento da cinza do carvão mineral está restrita à região Sul do Brasil, que possui oito unidades de produção. A produção de Cimento Portland Pozolânico, no Brasil, não ultrapassou a casa dos 10% nos últimos anos, com valores decrescentes a cada ano.

Os dados referentes a comercialização indicam que, além da fabricação do cimento, aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral são realizadas em pequenas proporções.

Quanto aos parâmetros estruturais e ambientais, a geometria e o desempenho tecnológico, os resultados da pesquisa piloto, realizada pelo Núcleo de Pesquisa em Construção em componentes pré-fabricados, confirmam que a incorporação da cinza do carvão mineral é tecnicamente viável para traços e substituições definidas. Os critérios utilizados são as normas técnicas para componentes com matéria-prima convencional.

A respeito da pesquisa piloto desenvolvida pelo NPC, o valor do bloco de vedação com substituição de matéria-prima convencional por cinza pesada apresentou-se menor que o valor do bloco convencional (bloco de vedação 14cm com matéria prima convencional = R\$ 0,7572/unidade e bloco de vedação 14cm com substituição de 10% de Cimento Portland e 100% de areia fina por cinza pesada = R\$ 0,7361/unidade).

Quanto ao posicionamento dos fabricantes de componentes e elementos pré-fabricados, é restritivo, por falta de conhecimento técnico e pelo processo empregado na produção e cura dos componentes. Os fabricantes mostram-se interessados quando o propósito é melhorar a qualidade e/ou diminuir o custo do produto.

A legislação ambiental e seu representante legal no estado de Santa Catarina (FATMA) consideram tal cinza como uma matéria-prima convencional, que pode ser utilizada na construção civil, desde que satisfeitas as normas técnicas e tomadas as medidas prescritas para transporte e armazenagem.

6.2 CONSIDERAÇÕES PARA O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

As considerações, fundamentadas no cenário encontrado e na revisão bibliográfica, sugerem ações que busquem a aproximação do mercado consumidor com o produtor da cinza gerada durante a queima do carvão mineral.

Nesse sentido, o estabelecimento de uma parceria entre a empresa geradora e a empresa usuária pode ser uma estratégia bastante benéfica para ambos os lados.

A busca por novos mercados e pela ampliação daquele existente, para a aplicação tecnológica da cinza proveniente da queima do carvão mineral, seja na construção, fabricação ou na estabilização de resíduos, deve partir da empresa geradora do resíduo.

Diante da perspectiva de aumentar o comércio de cinza, a GERASUL deve concentrar esforços em tornar seu subproduto atrativo. Uma maneira de efetivar este esforço é através do desenvolvimento de pesquisas e projetos pilotos.

Dessa forma, a exemplo de outros países, a cooperação técnica entre empresas e universidades, com o objetivo de promover o aproveitamento de resíduos sólidos industriais na construção civil, é de importância fundamental, sobretudo pela congregação de experiências, conhecimentos e esforços, que tornam mais fácil a criação de mercados alternativos para seus resíduos e a obtenção de maior êxito em programas de controle e proteção ambiental.

Enquanto empresa estatal, era difícil esperar iniciativas dessa natureza por parte da GERASUL, pela sua preocupação única em gerar energia elétrica, pois era subsidiária da ELETROBRÁS.

Atualmente, a nível mundial, há interesse crescente pela transferência de tecnologia da universidade para a empresa, decorrente da necessidade das empresas incorporarem inovações tecnológicas aos seus produtos e por ser a universidade depositária de conhecimentos com potencial gerador de inovações.

Quanto ao aproveitamento de resíduos sólidos industriais, por parte das empresas, as considerações são embasadas na realização das avaliações técnicas, ambientais e econômicas já descritas na revisão bibliográfica.

Além disso, sempre que possível deverão ser buscadas aplicações onde o produto fabricado com resíduo sólido industrial não encontre concorrentes diretos, ou encontre lacunas mercadológicas e/ou estímulos fiscais.

Em geral, as soluções que visam valorizar o resíduo devem situar-se a nível local, tendo em vista o seu baixo valor comercial.

O aproveitamento do resíduo deve ir ao encontro de soluções adaptáveis o mais próximo possível da produção e dos setores de comercialização, buscando sua valorização e considerando o tipo e a quantidade disponíveis.

Deve, ainda, levar em consideração a tecnologia e os tipos de produtos que poderão absorvê-lo, o custo de disposição e tratamento e o impacto sócio-econômico ambiental de sua utilização.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A realização deste trabalho suscitou a necessidade de futuras pesquisas relacionadas ao tema abordado, onde pode-se citar:

- ⇒ Envolver outros aspectos no estudo, como por exemplo os aspectos jurídicos e os aspectos políticos (estímulos fiscais, isenção de impostos, políticas públicas).
- ⇒ Redigir o protocolo de uso do produto fabricado com o aproveitamento do resíduo sólido industrial;
- ⇒ Desenvolver o projeto de normalização técnica para o aproveitamento da cinza proveniente da queima do carvão mineral, bem como os demais resíduos sólidos industriais, em elementos e componentes pré-fabricados;

- ⇒ Realizar um estudo com os consumidores finais dos componentes pré-fabricados, ou seja, os moradores das habitações. Buscar o posicionamento destes atores quanto ao aproveitamento de resíduos sólidos industriais na construção civil.
- ⇒ Desenvolver um projeto piloto para habitação popular, utilizando a maior quantidade possível de cinza do carvão mineral. Analisar os custos e a opinião de prefeituras e/ou mutirões habitacionais perante tal projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, I. B. **Caracterización de cenizas volantes de centrales termoeléctricas de carbón brasileñas. Utilización en la ingeniería civil y sus implicaciones medio ambientales.** Tesis doctoral - Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona: Escola tècnica superior d'enginyers de camins, canals i ports, 1993. 295p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete: ASTM C618.** Philadelphia, 1995. 03p.
- ANDRADE, A. C. F. & CERATTI, J. A. P. **Avaliação da resistência à compressão simples e da absorção de tijolos de cinza volante e cal.** [Caderno Técnico CT-100/90]. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil-UFRGS, 1990. 32p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (RJ). **Amostragem de resíduos – Procedimento: NBR-10007.** Rio de Janeiro, 1987. 25p.
- _____. **Lixiviação de resíduos – Procedimento: NBR-10005.** Rio de Janeiro, 1987. 10p.
- _____. **Materiais pozolânicos – Especificação: NBR-12653.** Rio de Janeiro, 1992. 03p.
- _____. **Resíduos sólidos - Classificação: NBR-10004.** Rio de Janeiro, 1987. 63p.
- _____. **Solubilização de resíduos – Procedimento: NBR-10006.** Rio de Janeiro, 1987. 02p.

- BEHR-ANDRES, C. B., PARISH, G. K. & HUTZLER, N. J. Strategy for beneficial use of stoker-boiler coal ash. **Journal of environmental engineering**, v. 120, n. 2, 1994. p. 401-415.
- BELLIA, V. **Introdução à economia do meio ambiente**. Brasília: Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis, 1996. 262p.
- BOFF, M. *et al.* Cinza e cal. Potencialidades na construção de tijolos. I e II Seminário de estudos da aplicação dos resíduos da combustão do carvão mineral, 2º painel. **Anais**. Florianópolis: ELETROSUL, 1990.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Capítulo VI, Artigo 225.
- BRUYNE, P.; HERMAN, J. & SCHOUTHEETE, M. **Dinâmica da pesquisa em ciências sociais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1982. 251p.
- CASTILHOS, A. B.; SOARES, S. R.; CAVALCANTE, J. R. & CHERIAF, M. Inventário de resíduos industriais no estado de Santa Catarina: Perspectivas de uso na construção civil. I Encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis. **Anais**. Canela: ANTAC, 1997. p. 27-36.
- CAVALCANTE, J. R. & CHERIAF, M. Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. **Anais**. São Paulo: PCC-USP, 1996. p. 31-38.
- CHERIAF, M. & CAVALCANTE, J. R. Caracterização dos resíduos industriais do estado de santa catarina e as possibilidades de valorização na construção civil. I Encontro Nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis. **Anais**. Canela: ANTAC - Grupo de trabalho em desenvolvimento sustentável, 1997. p. 81-86.
- CHIES, F., MALMANN, J. E. C. & ZWONOK, O. Características dos tijolos cinza/cal. ENTAC 95 - Qualidade e tecnologia na habitação, v. II. **Anais**. Rio de Janeiro: ANTAC, 1995. p. 161-169.
- CHINCHÓN, J. S., QUEROL, X., FERNANDEZ-TURIEL, J. L. & LÓPEZ-SOLER, A. Environmental impact of mineral transformations undergone during coal

combustion. **Environmental geologic water science**, v. 18, n. 1. New York: Springer-Verlang, 1991. p. 11-15.

CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. **Tecnologia das edificações**. São Paulo: PINI, 1988. p. 71-74.

CINCOTTO, M. A. & KAUPATEZ, R. M. Z. Seleção de materiais quanto à atividade pozolânica. **Tecnologia das edificações**. São Paulo: PINI, 1988. p. 23-26.

CIVIL ENGINEERING. **Emerging ash market**. News briefs. February, 1997. p. 08.

COELHO, C. C. S. R. **A questão ambiental dentro das indústrias de Santa Catarina: Uma abordagem para o segmento industrial têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1996. 142p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções CONAMA 1984/1991**. Brasília: IBAMA, 1992.

COSTA, C. E. Incorporação de rejeitos na indústria cerâmica. **Qualidade na construção**, n. 12, ano II. São Paulo: SindusCon, 1998. p. 44-46.

ELETROBRÁS. **Grupo Coordenador para Operação Interligada – Livro GCOI**, v. 1. Brasília: Assessoria de comunicação da ELETROBRÁS, 1998a.

_____. **Grupo Coordenador para Operação Interligada – GCOI – Plano anual de combustíveis 1998**. Brasília: Assessoria especial de sistemas isolados e combustíveis da ELETROBRÁS, 1998b. 10p.

_____. **Grupo Coordenador para Operação Interligada – GCOI - Relatório anual 1997**. Brasília: Departamento de comunicação da ELETROBRÁS, 1997. 125p.

_____. **Grupo Coordenador para Operação Interligada – GCOI - Relatório anual 1996**. Brasília: Assessoria de comunicação da ELETROBRÁS, 1996. 63p.

_____. **Grupo Coordenador para Operação Interligada – GCOI - Relatório anual 1995**. Brasília: Assessoria de comunicação da ELETROBRÁS, 1995. 59p.

____. **SIESE – Síntese Anual.** Rio de Janeiro: Secretaria executiva do SIESE, 1998c. 39p.

ESTRELLA, S. P. **Diagnóstico de resíduos sólidos industriais em Santa Catarina - Perspectivas de uso na construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1996. 123p.

FONSECA, M. G. Tijolos de cinzas - Cinza do carvão mineral e cinza de casca de arroz - Alternativas tecnológicas na fabricação de novos elementos construtivos para alvenarias. ENTAC 95 - Qualidade e tecnologia na habitação, v. II. **Anais.** Rio de Janeiro: ANTAC, 1995. p. 153-160.

FRIES, J. **Análise econômica da valorização energética da madeira.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1988. 134p.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Diagnóstico nacional da indústria da construção,** v. 07. Belo Horizonte: Diretoria de projetos I, 1984.

GAVA, G. P. **Estudo comparativo de diferentes metodologias para avaliação da atividade pozolânica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1999. 118p.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: Tipos fundamentais. **Revista de Administração de empresas,** v. 35. São Paulo: 1995. p. 20-29.

GOTHE, C. A. Sistemas de controle e disposição final das cinzas do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda – SC e da usina termelétrica de Jacuí – RS. I e II Seminário de estudos da aplicação dos resíduos da combustão do carvão mineral, 1º painel. **Anais.** Florianópolis: ELETROSUL, 1990.

HADDAD, E. (Coord.), ANUATI, F., LOPES, M. *et al.* **Políticas públicas para incentivo à utilização de resíduos em habitação.** [Relatório IPT/DES-AETEC/DIGEO/DEC n. 34.904/96 – Interessado: FINEP]. São Paulo: IPT, 1997. 158p.

- INDRARATA, B., NUTALAYA, P., KOO, K. S. & KUGANENTHIRA, N. Engineering behavior of a low carbon, pozolanic fly ash and its potential as a construction fill. **Canadian geotechnical journal**, v. 28. Canadá: Can. Geotech. J., 1991. p. 542-555.
- ISAIA, G. C. Entraves e perspectivas para uso de elevados teores de cinza volante e cinza de casca de arroz em concreto estrutural. Workshop Reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. **Anais**. São Paulo: PCC-USP, 1996. p. 46-52.
- _____. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: Um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1995. 280p.
- ISATTO, E. L. **As relações entre empresas construtoras de edificações e seus fornecedores de materiais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 1996. p.
- ITAMBÉ. **Aplicações para os diferentes tipos de cimento Itambé**. Parte integrante da revista Construção - Região Sul, ed. 347. 1997.
- JABLONSKI, G. J. & TYSON, S. S. Overview of coal combustion by-product utilization. Fifth annual international Pittsburgh coal conference. **Proceedings**. Pittsburgh: University of Pittsburgh, 1988. p. 15-22.
- JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos agro-industriais para uso na construção civil no Brasil: O caso da escória de alto forno. Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para proteção ambiental. **Anais**. São Paulo: NUDEPE/POLI-UPE, 1997. p. 67-76.
- _____. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. **Anais**. São Paulo: PCC-USP, 1996. p. 21-30.

- KERLINGER, F. N. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. [Tradução Helena Mendes Rotundo; Revisão técnica José Roberto Malufe]. São Paulo: EPU, 1980. 378p.
- KIHARA, Y. & SCANDIUZZI, L. **Uso de resíduos de carvão na indústria brasileira de cimento**. [Estudo Técnico – 98]. São Paulo: ABCP, 1992. 24p.
- Legislação ambiental básica do estado de Santa Catarina**. Lei 5.793 (Outubro, 1980) e Decreto 14.250 (Junho, 1981). Florianópolis: Governo do estado de Santa Catarina, Secretaria de desenvolvimento urbano e do meio ambiente (SDM), Fundação do meio ambiente (FATMA), 1995. 39p. Artigos 70, 71, 72 e 73.
- MAIA, M. A. C., UNIZ, E. S. & FREITAS, M. C. D. Sistemas construtivos com o uso de resíduos. Uma alternativa para reduzir o custo da habitação popular. ENTAC 95 - Qualidade e tecnologia na habitação, v. II. **Anais**. Rio de Janeiro: ANTAC, 1995. p. 503-509.
- MAIA, M., CAVALCANTE, J. R. & CHERIAF, M. Reaproveitamento das cinzas pesadas do Complexo termelétrico Jorge Lacerda em materiais de construção civil: Aspectos tecnológicos e ambientais. II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental – gerenciamento de resíduos e certificação ambiental. **Anais**. Porto Alegre: PUC/RS, 1998. Publicado em anexo.
- MALHOTA, V. M. & HEMMINGS, R. T. Blended cements in North América – A review. **Cement & concrete composites**, v. 17. Great Britain: Elsevier Science Limited, 1995. p. 23-35.
- MANZ, O. E. Utilization of by-products from western coal combustion in the manufacture of mineral wool and other ceramic materials. **Cement and concrete research**, v. 14. USA: Pergamon Press, 1984. p. 513-520.
- MARCIANO JR, E., MARINGOLO, V. & SUTO, A. J. Gerenciamento ambiental: Alternativa de estabilização de resíduos industriais e urbanos com cimento e concreto. 38º REIBRAC, v. II. **Anais**. Ribeirão Preto: IBRACON, 1996. p. 535-549.

- MILLER, E. W. Blended cements – Applications and implications. **Cement & concrete composites**, v. 15. Great Britain: Elsevier Science Limited, 1993. p. 237-245.
- MINAYO, M. C. S. **Pesquisa social: Teoria, método e criatividade**. Rio de Janeiro: Vozes, 1994. 79p. Cap. 1, p. 09-33: Ciência, técnica e arte - O desafio da pesquisa social.
- NEVES, C. **Análise de investimentos: Projetos industriais e engenharia econômica**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982. 223p.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. [Tradução Eng. Salvador E. Giamusso]. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997, 828p.
- NOLASCO, A. M. & AGNESINI, M. V. C. Utilização de resíduos da indústria de papel na produção de materiais para a construção civil. ENTAC 93 – Avanços em tecnologia e gestão da produção de edificações. **Anais**. São Paulo: ANTAC, 1993. p. 55-64.
- OLIVEIRA, M. **Alguns procedimentos de ensaios normatizados relativos a tijolos e blocos**. [Caderno de Engenharia CE-21]. Porto Alegre: UFRGS, 1988. 36p.
- PARSA, J. MUNSON-McGREE, S. H. & STEINER, R. Stabilization/solidification of hazardous wastes using fly ash. **Journal of environmental engineering**, v. 122, n. 10. USA: ASCE, 1996. p. 935-940.
- PERA, J. State of the art report – Use of waste materials in construction in western Europe. Workshop reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção civil. **Anais**. São Paulo: PCC-USP, 1996. p. 01-20.
- PRIM, E. C. C., CHERIAF, M., CASTILHOS, A. B. *et al.* Valorização do lodo da indústria têxtil como novo material de construção civil. VII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído – Qualidade no ambiente construtivo. **Anais**. Florianópolis: ANTAC, 1998. p. 871-878.
- ROHDE, G. M. Contexto ambiental das cinzas de carvão no Brasil. II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental – Gerenciamento de resíduos e certificação ambiental. **Anais**. Porto Alegre: PUC/RS, 1998. p. 400-408.

- ROY, W. R., THIERY, R. G., SCHULLER, R. M. & SULOWAY, J. J. **Coal fly ash: A review of the literature and proposed classification system with emphasis on environmental impacts.** Environmental geology notes 96. Illinois: Illinois State geological Survey, 1981. 69p.
- RUDIO, F. V. **Introdução ao projeto de pesquisa científica.** Petrópolis: Vozes, 1983. 124p.
- SILVA, M. A. M. & CERATTI, J. A. P. **Estudo da utilização da cinza volante em blocos para construção civil.** [Caderno técnico CT-22/80]. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFRGS, 1980. 29p.
- SILVA, N. I. W., CHIES, F. & ZWONOK, O. Usos de cinzas de carvão na construção civil. I Encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis. **Anais**, Canela: ANTAC, 1997. p. 15-20.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Relatório anual.** Rio de Janeiro: SNIC, 1995. 62p.
- _____. **Relatório anual.** Rio de Janeiro: SNIC, 1996. 58p.
- _____. **Relatório anual 45 anos: 1953 – 1998.** Rio de Janeiro: SNIC, 1998. 78p.
- SOUZA, R. & SILVA, M. A. C. **Estudo da competitividade da indústria brasileira: Competitividade do complexo de materiais de construção.** [Nota técnica]. Campinas: Consórcio IE/UNICAMP – IEI/UFRJ – FDC – FUNCEX, 1993.
- TAVARES, J. M., BAASCH, S. S. N. & POSSAMAI, O. A engenharia e o gerenciamento ambiental. **Revista Tecnologia Fortaleza**, n. 17. Fortaleza: 1996. p. 28-34.
- TORREY, S. **Coal ash utilization: Fly ash, bottom ash and slag.** New Jersey: Noyes Data Corporation, 1978. 369p.
- TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: A pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1987. 175p.

- VÁZQUEZ, E. Utilización de residuos en la C. E. E. Aspectos políticos y ambientales. Estado del arte y normalización. Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para proteção ambiental. **Anais.** São Paulo: NUDEPE/POLI-UPE, 1997. p. 64-66.
- VIEGAS, R. S. **Auditoria ambiental de conformidade: uma proposta de metodologia de condução para usinas termelétricas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 1997. 120p.
- WENG, C. H. & HUANG, C. P. Treatment of metal industrial wastewater by fly ash and cement fixation. **Journal of environmental engineering**, v. 120, n. 6. USA: ASCE, 1994. p. 1470-1487.
- WORLD BANK. **India: Environmental issues in the power sector.** <http://www.worldbank.org/html/fdp/em/power/EA/india/loiat2-4.stm>, 26/03/98, 07p.
- YIN, R.K. **Case study research: Design and methods.** Beverly Hills: Sage, 1984. 159p.
- ZWONOK, O. (Coord.), CHIES, F. & SILVA, N. I. W. **Identificação dos usos possíveis para as cinzas carboníferas de termelétricas brasileiras.** [Relatório para a ELETROBRÁS – Contrato ECE-816/96]. Porto Alegre: CIENTEC, 1996. 88p.